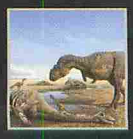
www.lescienze.it

le Scienze

edizione italiana di SCIENTIFIC AMERICAN



Misterioso assassinio nel Mesozoico

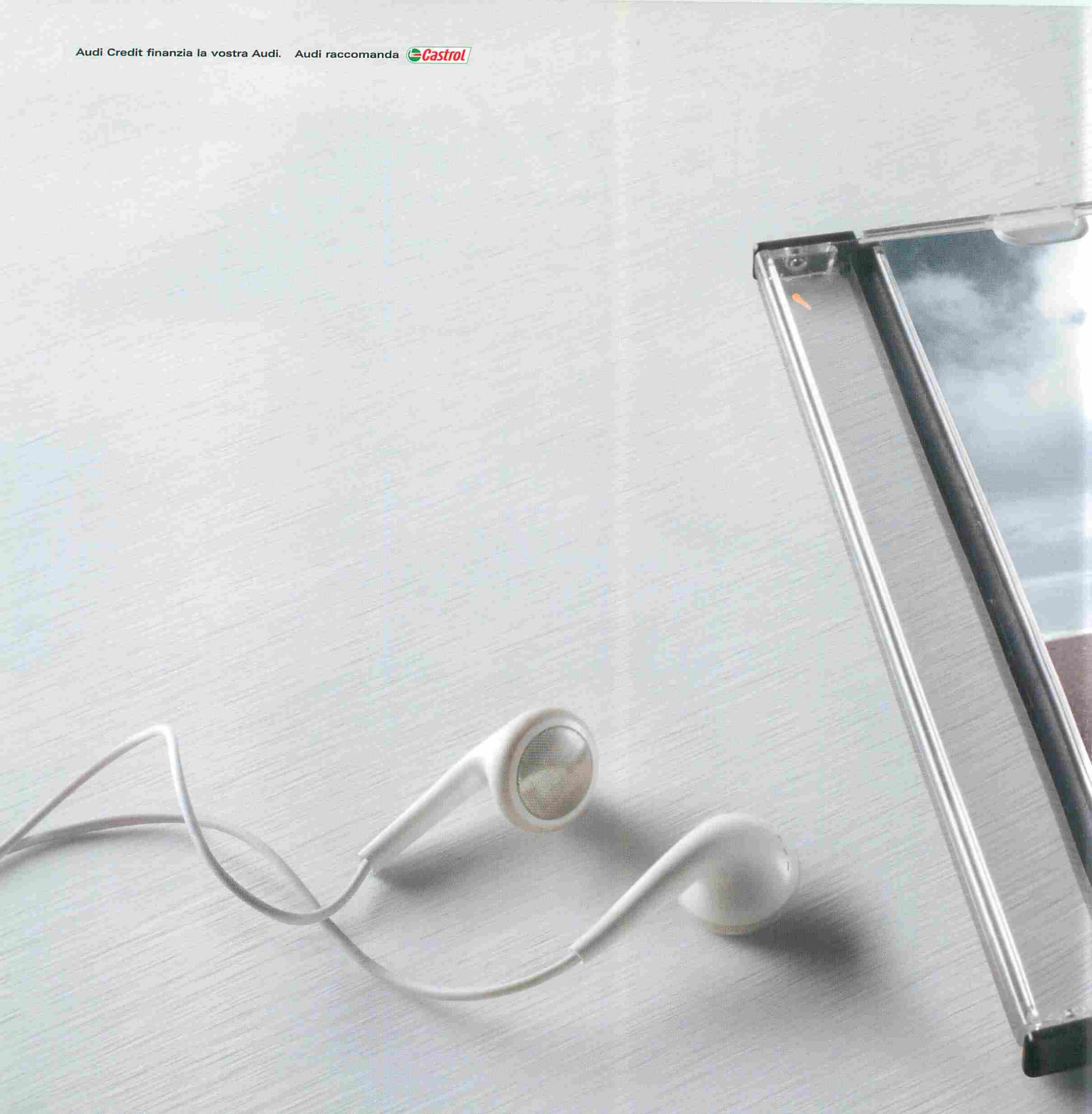
Metano, piante e riscaldamento della Terra

Energia oscura

UNA FORMA SCONOSCIUTA DI ENERGIA HA IN PUGNO IL DESTINO DELL'UNIVERSO

POSTE ITALIANE SPED. IN A.P. - D.L. 353/2003 CONV. L. 46/2004, ART. 1, C. 1, DCB - MILANO
rivista mensile - numero 464 - aprile 2007 - € 3,90

Le magie del telescopio Magic | Evoluti per il cancro? | Combustibili verdi tra mito e realtà



Chi ha orecchio coglierà la nota positiva.
Audi A3 Soundtech a partire da € 23.950*.

- Radio Symphony con lettore frontale integrato per 6 CD e funzione MP3.
- Volante multifunzionale.
- Predisposizione per telefono cellulare Bluetooth.
- Predisposizione per iPod o, in alternativa, per interfaccia USB.

Iniziativa valida solo per Audi A3 3 porte.

* Prezzo chiavi in mano (IPT esclusa) riferito ad Audi A3 3 porte 1.6 benzina Attraction.

Audi A3 3 porte V6 3.2 quattro cambio manuale (184 kW/250 CV). Consumo max urbano/extraurbano/combinato (l/100 km): 14,7/8,1/10,5. Emissioni CO_2 (g/km): 250.

Materia oscura

di Sidney Harris

«Voi due avete qualcosa in comune. Il dottor Davis ha scoperto una particella che nessuno ha visto, e il professor Higbe ha scoperto una galassia che nessuno ha visto.»

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

L'ACCIAIO È ORO.

E NOI NE FACCIAMO TESORO.

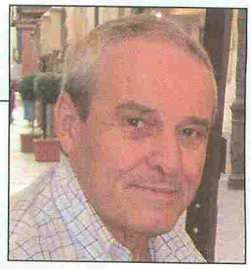
L'acciaio è una grande risorsa ed è il materiale più riciclato in Europa.
In Italia sei imballaggi in acciaio su dieci sono riciclati.

Consorzio Nazionale ACCIAIO

CONSORZIO NAZIONALE
PER IL RICICLO ED IL RECUPERO
DEGLI IMBALLAGGI DI ACCIAIO.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

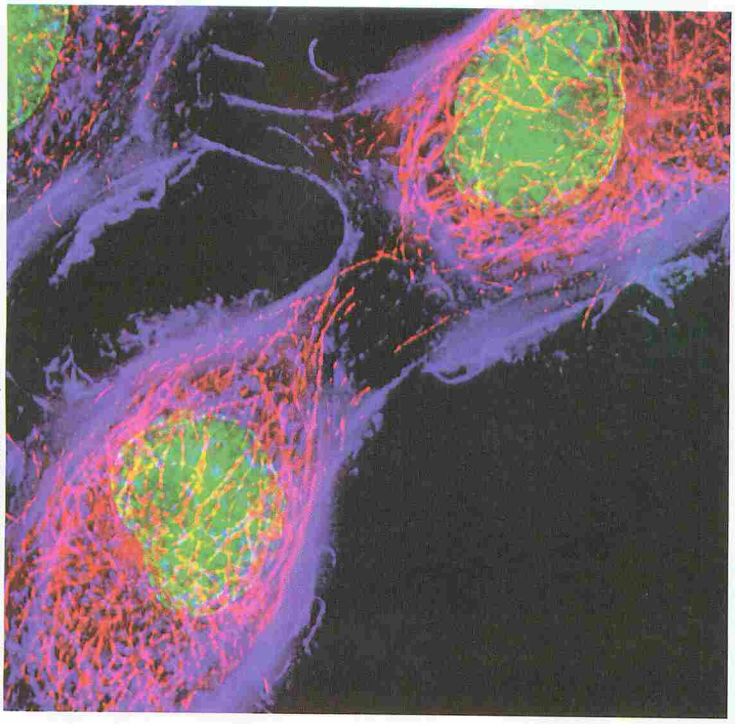
di Enrico Bellone



L'evoluzione dell'evoluzione

Se Copernico fosse rinato sul finire del Seicento, si sarebbe reso conto che il copernicanesimo aveva vinto pagando prezzi alti. Keplero, Galilei e Newton avevano infatti radicalmente trasformato il suo modello eliocentrico, ed egli si sarebbe sorpreso non poco se avesse potuto leggere i newtoniani *Principi matematici della filosofia naturale* e rendersi conto di ciò che i copernicani pensavano.

In una situazione analoga si troverebbe, oggi, Charles Darwin. Se potesse entrare in una buona biblioteca dei nostri giorni, sarebbe lieto di constatare come gli schemi evolutivi stiano trionfando. E, nello stesso tempo, farebbe spallucce se gli capitasse fra le mani quel vecchio numero di «La Critica» dove, nel 1939, Benedetto Croce scriveva di provare «vergogna» di fronte a teorie che accettavano le «origini animalesche dell'umanità» e negavano la presenza di «una favilla divina» nelle persone: solo spallucce, s'intende, perché il vero Darwin aveva già ai suoi tempi affrontato obiezioni dello stesso tenore.



Paul Andrews, Università di Dundee/Photo Researchers, Inc.

UNA CELLULA NELLA FASE FINALE DELLA DIVISIONE. Ogni volta che una cellula si riproduce c'è una minima possibilità che il suo DNA muti in modo cancerogeno.

Ma l'ipotetico Darwin odierno nutrirebbe curiosità per le ragioni che spingono a modificare il principio fondamentale che, nel terzo capitolo di *L'origine delle specie*, egli aveva così enunciato nel 1859: «Qualsiasi variazione, anche se lieve, qualunque ne sia l'origine, purché risulti in qualsiasi grado utile ad un individuo appartenente a qualsiasi specie... contribuirà alla conservazione di quell'individuo e, in genere, sarà ereditata dai suoi discendenti... A questo principio, grazie al quale ogni più piccola variazione, se utile, si conserva, ho dato il nome di selezione naturale».

Gli scienziati di oggi non vogliono certamente eliminare la selezione naturale: vogliono, semmai, capirla meglio, come si vede nelle pagine che Carl Zimmer, in questo numero, dedica a una domanda inquietante: *Evoluti per il cancro?* La selezione naturale è talmente forte da aver generato strutture utili come l'apparato visivo o il sistema immunitario: ebbene, come mai non ha eliminato la proliferazione delle cellule tumorali, che di sicuro non è «utile» alla conservazione dell'individuo?

Quesito legittimo. Le cellule tumorali, infatti, non sono «parassiti» che ci attaccano dall'esterno. Sono cellule «nostre» che si ribellano e ci distruggono, ingannando le difese immunitarie o nutrendosi con tecniche di dirottamento di vasi sanguigni che garantiscono la loro crescita, sino alla morte del corpo che li ospita. Insomma, il tumore «ricrea all'interno dei nostri corpi il processo evolutivo grazie al quale gli animali si adattano all'ambiente». Il che ci riporta addirittura alle nostre lontane origini. Milioni di anni fa sono comparsi i primi ominidi, e la scienza è oggi in grado di distinguere i geni che in questo intervallo di tempo sono rimasti pressoché inalterati da quelli che invece hanno subito mutazioni a causa della pressione selettiva: e ci si accorge che certi geni dove si sono verificati cambiamenti drastici sono proprio quelli che agiscono in modo importante nella genesi del cancro.

Fa molto pensare, allora, la chiusura dell'articolo di Zimmer: se i nostri corpi sono davvero «colonie» che i nostri geni fabbricano per trasmettere se stessi, allora la soluzione del problema costituito dal cancro sarebbe quella di «riprodurci in un altro modo». L'orizzonte del futuro si spalanca in forme imprevedibili.

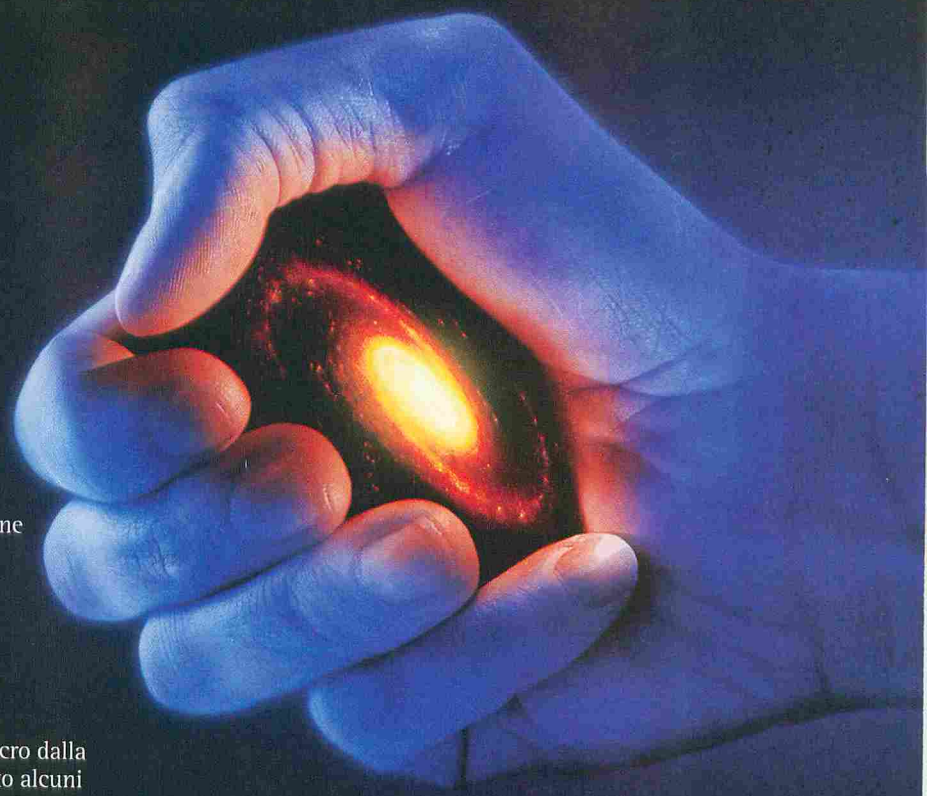
http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

TIMBERLAND® EYEWEAR
Mod. TB2052 _ Prodotto e distribuito da Marcolin S.p.A. Numero Verde 800.500.000 www.marcolin.com
Timberland, and Make it better are trademarks or registered trademarks of The Timberland Company. ©2007 The Timberland Company. All rights reserved.
Timberland® Make it better.™

LE SCIENZE numero 464 aprile • 2007

sommario

gli articoli



POLITICA E RICERCA

36 Il Cancelliere scienziato

MICHAEL DUMIAK

Angela Merkel, una ricercatrice diventata leader del G8, porta la scienza nell'agenda della politica europea e mondiale

COSMOLOGIA

40 La mano invisibile dell'universo

CHRISTOPHER J. CONSELICE

L'energia oscura non accelera solo l'espansione del cosmo: governa anche la forma e la posizione delle galassie nello spazio

BIOLOGIA

48 Evoluti per il cancro?

CARL ZIMMER

La selezione naturale non ha eliminato il cancro dalla nostra specie, ma anzi sembra aver conservato alcuni geni che contribuiscono a renderlo più aggressivo

PALEONTOLOGIA

56 Assassinio nel Mesozoico

RAYMOND R. ROGERS e DAVID W. KRAUSE

Era un vecchio caso irrisolto: le ossa avevano 70 milioni di anni. Ma c'erano indizi chiave che rivelavano l'identità del killer

ASTROFISICA

64 Le magie del telescopio Magic

ALESSANDRO DE ANGELIS e LUIGI PERUZZO

Buchi neri supermassicci, microquasar, resti di supernova: i telescopi Cerenkov sensibili ai raggi gamma stanno aprendo uno spiraglio sugli oggetti che popolano la regione di più alta energia dell'universo

ZOOLOGIA

74 Le iguane di Cerro Dragón

GABRIELE GENTILE

Le popolazioni di iguane delle Galápagos, decimate fino agli anni settanta, stanno rifiorendo. Ma con quali conseguenze sulla diversità genetica?

ENERGIA

82 Etanolo tra mito e realtà

MATTHEW L. WALD

Perché l'etanolo possa diventare un vero concorrente della benzina, le aziende devono imparare a distillare la parte verde del mais anziché le pannocchie

CLIMATOLOGIA

90 Metano, piante e clima

FRANK KEPPLER e THOMAS RÖCKMANN

La scoperta che anche la vegetazione genera metano non altera le responsabilità del riscaldamento globale. Alla base dell'improvviso aumento di questo gas serra ci sono le attività umane, non le piante

BIOLOGIA MOLECOLARE

96 Il potere dell'RNA

RONALD R. BREAKER e JEFFREY E. BARRICK

La scoperta di molecole sopravvissute a un mondo dominato dall'RNA apre la strada a nuovi metodi per combattere le malattie moderne

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

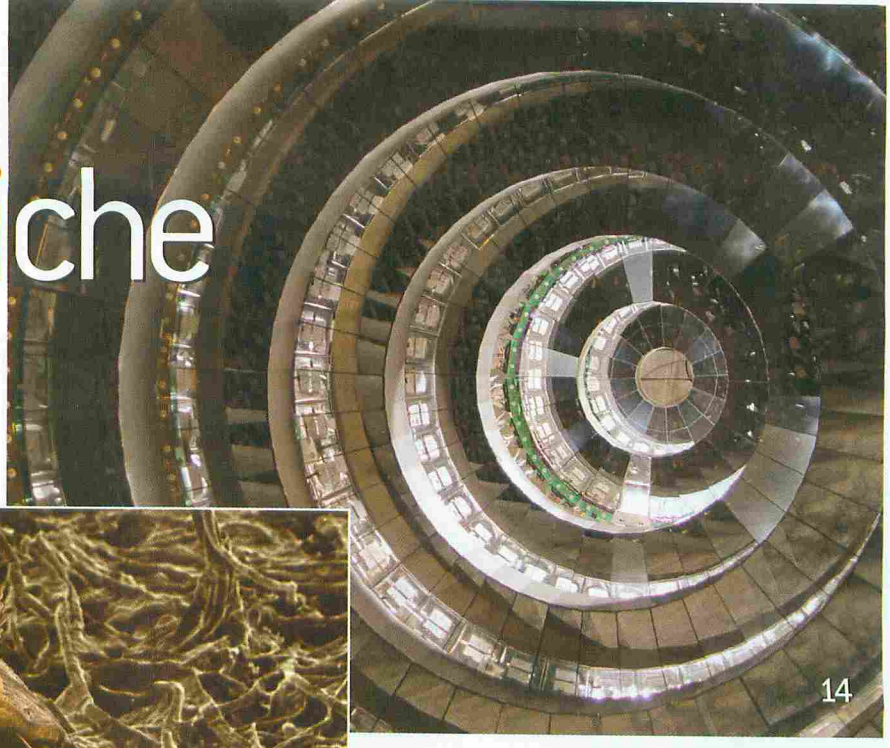
La TV che non si ferma all'immagine.

Dà ascolto alle vostre ragioni e sente i vostri valori. Dà all'informazione e all'approfondimento un respiro attuale. Diverte ed emoziona, con tatto e con buon gusto. È SaT2000. Finalmente, la tv non si ferma all'immagine. **www.sat2000.it**

818 SKY | DIGITALE TERRESTRE | EMITTENTI LOCALI

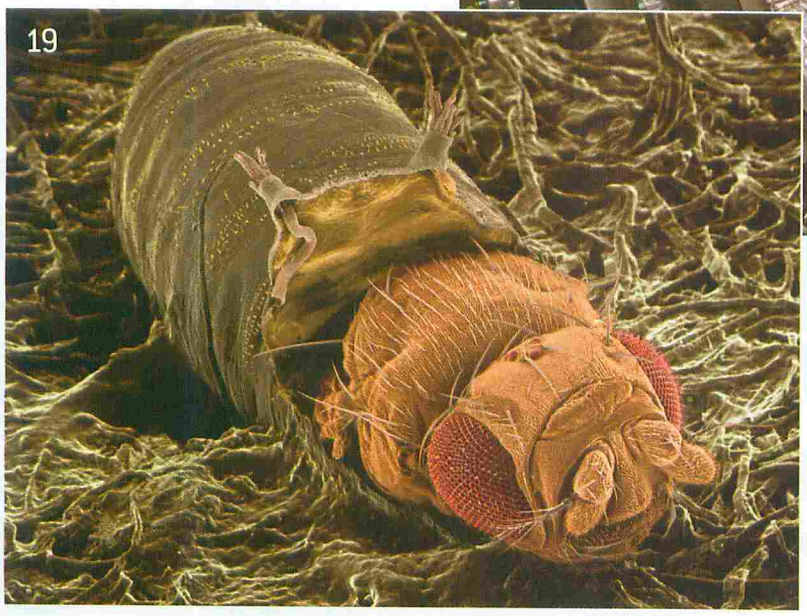
http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

sommario
le rubriche



3 Materia oscura
di Sidney Harris

5 Editoriale
di Enrico Bellone



12 Lettere

13 Il pensiero forte
Filosofia di un terrorista algebrico
di Enrico Bellone

14 L'intervista
Fisica italiana, marchio di qualità
di Giovanni Spataro

17 Anteprima
Il fascino immortale degli altri universi

19 Appunti di laboratorio
Conservare e riciclare
di Edoardo Boncinelli

105 Il matematico impertinente
Buon compleanno, Eulero!
di Piergiorgio Odifreddi

106 Libri e tempo libero

110 L'altra scienza
Il libro che nessuno ha letto
di Andrea Albini

111 Pentole & provette
La dolce bacca dei miracoli
di Dario Bressanini

Scienza news

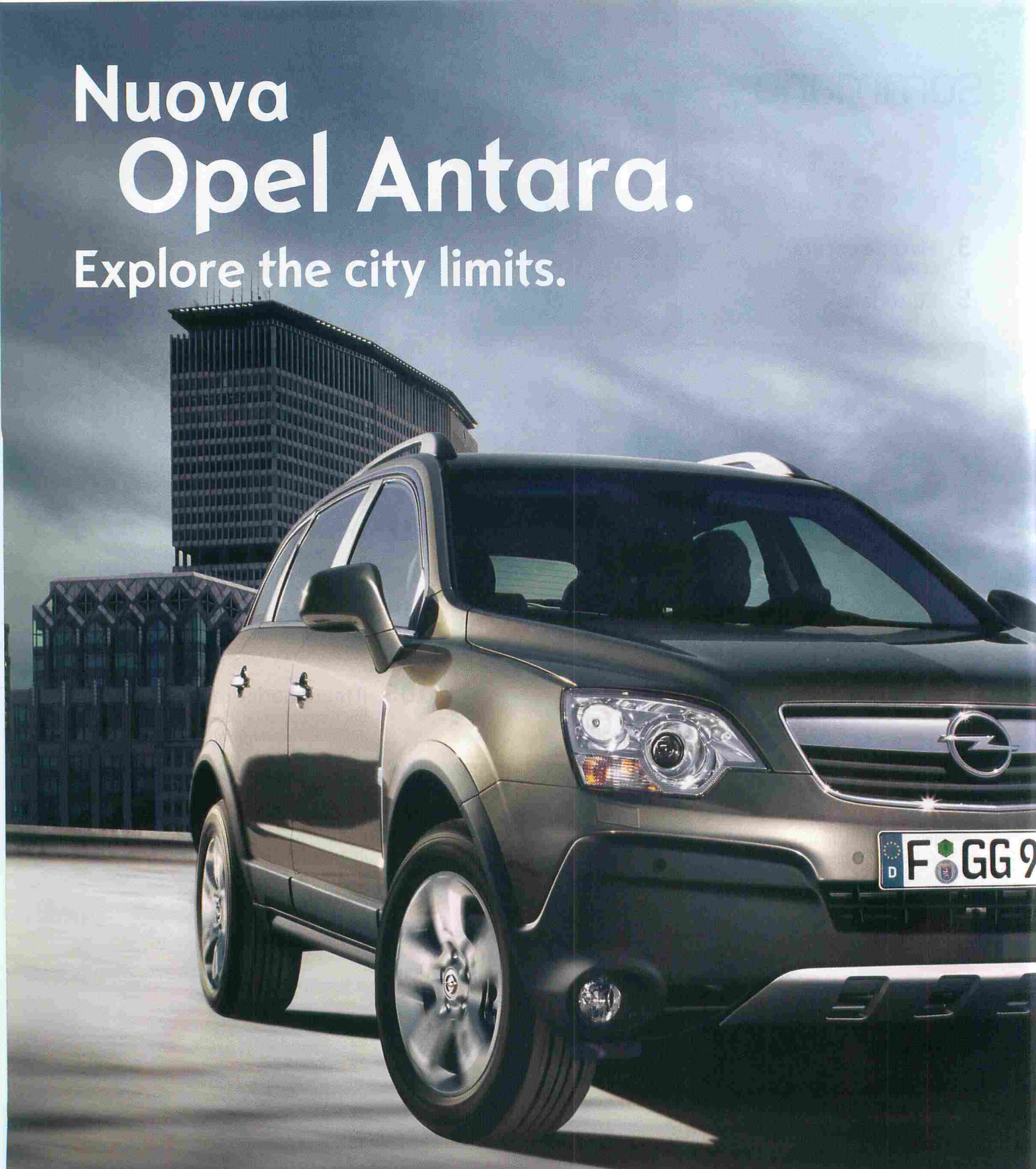
21 Un programma per l'Europa
22 Microcomputer a bolle
22 Com'è asciutto quel pianeta
23 L'Europa verso Mercurio
26 Su Marte, fossile è meglio
26 Cosa si nasconde sotto i ghiacci antartici?
27 Nebulosa planetaria con comete
28 Perché iniziammo a parlare
28 La statistica dei brogli elettorali
29 Luce sul campo di battaglia
29 Sordo a chi?
30 Nuovi indizi sull'autismo
30 DNA sotto il Sole
32 Un destino da linfocita
32 L'evoluzione parellela di Helicobacter pylori
33 Accelerazioni evolutive
34 Tempeste asiatiche sul Pacifico
34 La sfida per la Terra

In copertina: un'illustrazione di Kenn Brown.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

Nuova Opel Antara.

Explore the city limits.



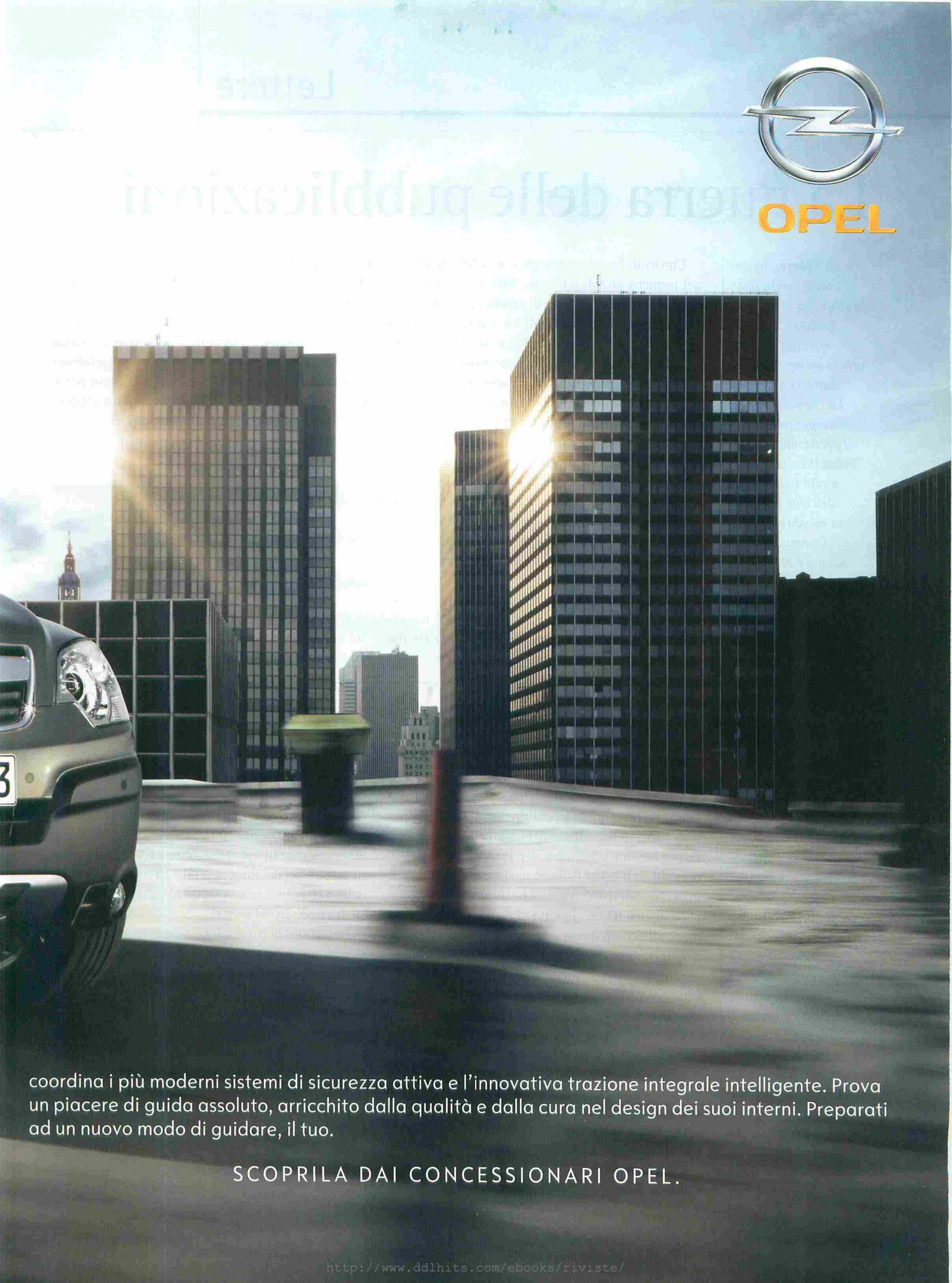
Tutta la città diventa il tuo campo d'azione. Nasce per te la nuova Antara, lo straordinario SUV di Opel. Scopri una nuova prospettiva di guida. Domina la strada con i suoi potenti motori, dal 2.0 CDTI da 150 CV con F.AP. di serie, ottenibile anche con cambio automatico, al 3.2 V6 benzina da 227 CV. Sperimenta un totale controllo, grazie al suo sofisticato software che gestisce e

Numero Verde 800-701107

www.opelantara.it

Consumo ciclo misto da 7,5 a 11,6 (l/100km). Emissioni CO_2 da 197 a 277 (g/km)

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/



http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

La guerra delle pubblicazioni

Il 20 febbraio, troppo tardi perché fosse pubblicata sul numero di marzo, abbiamo ricevuto dal capo ufficio stampa del CNR Marco Ferrazzoli la lettera qui a fianco. Contemporaneamente, il presidente del CNR Fabio Pistella inviava a tutti i dipendenti dell'ente – nonché ai membri della VII Commissione del Senato e al ministro Mussi – un comunicato più articolato, di analogo tenore. Da allora al momento in cui andiamo in stampa con questo numero vi sono stati vari interventi in merito alla questione dei dati sulle pubblicazioni scientifiche del CNR, sia della presidenza dell'ente, sia dell'autore dell'articolo La crisi scientifica del CNR, *Franco Miglietta, sia di altri ricercatori. Non potendo pubblicare ogni contributo per evidenti ragioni di spazio, ci limitiamo qui a inserire i passaggi più significativi della replica di Franco Miglietta, e rimandiamo al nostro sito* www.lescienze.it, *dove è disponibile la documentazione integrale.*

L'articolo *La crisi scientifica del CNR*, pubblicato nel numero 462 di febbraio 2007 di «Le Scienze», con l'obiettivo dichiarato di analizzare l'andamento nel periodo 1996-2006 di un sottoinsieme della produzione scientifica del CNR utilizzando la banca dati ISI, contiene dati che sono inaccettabili.

Infatti, in primo luogo, nell'articolo sono fortemente sovradimensionati i valori (circa 7000 lavori/anno negli ultimi anni) ascritti alla «produzione CNR più INFM». La produzione scientifica ISI del CNR, dal 2000 a oggi, varia fra i 4000 e i 5000 lavori. Nello stesso periodo, la produzione INFM non ha mai raggiunto i 1500 lavori ISI. Di qui, derivano forti dubbi sulla accettabilità dei criteri di «consultazione e conteggio», peraltro non apertamente richiamati nell'articolo, scelti dall'autore per interrogare le banche dati ISI.

Non si comprende nemmeno come si possa sostenere la «repentina flessione nel numero totale di pubblicazioni del CNR a partire dal 2005». Interrogando le banche dati Science Citation Index Expanded, Social Science Citation Index, Arts&Humanities Citation Index, con il metodo comunemente adottato del *full counting* (ogni pubblicazione, anche in caso di autori afferenti a diverse istituzioni, è assegnata per intero a ciascun autore e alla corrispondente affiliazione), relativamente al periodo 2003-2006, si ottengono per il CNR i valori in tabella, dove è evidente un apprezzabile incremento delle pubblicazioni, che si rivelerà probabilmente ancora più elevato, una volta disponibili i dati definitivi del 2006.

Anno	Articoli
2003	4144
2004	3958
2005	4391
2006	4597

Quanto alle «spiegazioni» sulla crisi, non si entra nel merito in questa sede, per il semplice motivo che il fenomeno non c'è.

La replica

La consultazione delle banche dati bibliografiche dell'ISI richiede molta attenzione, perché è facile fare errori come quelli in cui ritengo siano incappati gli Uffici di Presidenza del CNR nella loro replica. La produzione scientifica dell'insieme degli istituti del CNR, dell'INFM (Istituto nazionale di fisica della materia), dell'INOA (Istituto nazionale di ottica applicata), dell'IDAIC (Istituto di diritto agrario internazionale comparato), oggi accorpati nel CNR, era, nel 2003, sicuramente non inferiore a 7284 pubblicazioni al netto di quelle degli istituti del CNR che sono poi confluiti nell'Istituto nazionale di astrofisica. Per esempio, usando le chiavi scelte dagli Uffici di Presidenza, la produzione di articoli scientifici ISI dell'insieme CNR di cui sopra risulta essere pari a 20.865 nel periodo 2003-2006, contro le 29.006 pubblicazioni che compaiono usando chiavi di ricerca più appropriate. Si tratta di una sottostima superiore a un quarto dei lavori effettivamente pubblicati e presenti nel database dell'ISI.

L'affermazione che il valore di «oltre 7000 lavori/anno è fortemente sovradimensionato» è quindi priva di fondamento. Così come è priva di fondamento l'affermazione che la produzione scientifica dell'INFM non abbia mai raggiunto i 1500 lavori ISI all'anno; nel 2003, la sigla INFM (nelle sue diverse varianti) appare su oltre 2400 pubblicazioni censite nel database dell'ISI e su una buona parte delle 476 pubblicazioni frutto di collaborazioni miste fra CNR, INFM e INOA.

Nel 2006, la produzione scientifica dello stesso insieme, a cui va doverosamente aggiunta quella dei ricercatori del CNISM (Consorzio nazionale interuniversitario per le scienze fisiche della materia) che ha raccolto molti ricercatori universitari che lavoravano nell'INFM, è stata non inferiore a 6836 pubblicazioni. L'analisi contenuta nell'articolo pubblicato su «Le Scienze» di febbraio rimane quindi valida e attuale; i dati sono verificabili da chiunque, gli elenchi delle pubblicazioni ISI su cui ho basato le mie osservazioni e le mie conclusioni sono scaricabili dal sito http://www.ibimet.cnr.it/biosphere/EPR/home.htm.

FRANCO MIGLIETTA

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

Filosofia di un terrorista algebrico

di Enrico Bellone

Fu a Duino, nei pressi di Trieste, che scelse di lasciare questo mondo. Era il 5 settembre 1906: e non s'è fatto molto, negli ultimi mesi, per ricordare in Italia il centenario della morte di uno dei maggiori intellettuali dell'età moderna. E pensare che a 25 anni era in cattedra di fisica matematica all'Università di Graz, e che tre anni dopo aveva pubblicato un articolo epocale per la comprensione dei fenomeni naturali su scala universale: un articolo sui processi irreversibili che nel 1872 introduceva un rivoluzionario modello di quantizzazione classica dell'energia.

SPL/Grazia Neri

UN RITRATTO DI LUDWIG BOLTZMANN, fisico e pensatore viennese, uno dei maggiori intellettuali dell'età moderna.

Si chiamava Ludwig Boltzmann, ed era nato a Vienna nel 1844. Credeva nella necessità di rifondare i rapporti tra fisica, matematica e filosofia, ed era assillato da una domanda: per quale motivo gli esseri umani producono immagini della natura, le sottomettono a controlli sperimentali e le trasformano di continuo? A suo avviso la risposta stava nella teoria di Darwin, poiché le idee umane sul mondo erano il risultato dell'evoluzione biologica.

Nel 1905, infatti, aveva ripetuto che «la salvezza della filosofia viene dalla teoria di Darwin», nel senso che il cervello si era sviluppato in quanto le immagini del mondo che esso generava e modificava erano «di grande utilità per la conservazione della specie».

Utilità? Una parola pesante, in bocca a un fisico teorico che avrebbe dovuto invece preferire la parola «verità»: non è forse vero che cerchiamo la verità sulla base di leggi logiche, e che la crescita dei saperi tende a visioni sempre più vere del mondo e di noi stessi?

Ebbene, Boltzmann riteneva che le cosiddette leggi logiche fossero «innate in ogni individuo attraverso l'esperienza della specie, durata molte migliaia di anni», negando però che esse fossero immutevoli e infallibili. Erano semmai l'esito di processi evolutivi: «abitudini di pensiero ereditate». Ma le abitudini si modificano con l'apprendimento e l'esperienza. Ecco perché a Boltzmann appariva filosoficamente corretto insistere nel dire che le cosiddette «leggi del pensiero» evolvono in modo imprevedibile, così da aiutare la specie a capire ciò che le è necessario per il proprio «sostentamento», ciò che è «utile praticamente».

E la verità? Meglio parlare di «giustezza» o di «correttezza» delle teorie. Riferendosi alla fisica teorica, Boltzmann dichiarava che potevano benissimo esistere due teorie tra loro differenti ma comunque conformi ai fenomeni e dotate di coerenza interna. Era vano allora pensare che una delle due fosse vera e l'altra falsa. Le teorie evolvono, e la loro evoluzione è ricca di discontinuità e non segue il cammino più semplice «da un punto di vista logico».

Insomma, la conoscenza umana cresce a zigzag, e la sua espansione non tende a uno scopo prefissato, non è regolata da schemi logici atemporali, ma dipende soltanto dalla necessità di soddisfare bisogni pratici di sopravvivenza in un ambiente mutevole.

Non a caso, quindi, Boltzmann era una figura pressoché isolata, sia nella comunità scientifica sia tra molti filosofi del suo tempo. Va poi ribadito che era un teorico convinto che la matematica fosse l'ingrediente basilare della conoscenza. Ricorreva a forme talmente astratte di matematizzazione che alcuni suoi critici lo bollavano come un «terrorista algebrico», incline a sostituire il pensiero con i teoremi.

Oggi sappiamo che la sua predilezione per l'astrazione pose le fondamenta della teoria di Planck sulla radiazione e di alcuni capolavori firmati da Albert Einstein. E ricordando la sua filosofia, ricordiamo soprattutto il debito che la cultura di oggi ha nei suoi confronti. Anche se spesso se ne dimentica.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

Fisica italiana, marchio di qualità

Per il presidente dell'INFN, l'istituto deve essere sempre più un luogo di innovazione e crescita tecnologica per le imprese che vogliono competere sul mercato globale

di Giovanni Spataro

CHI È

- Nasce a Roma nell'aprile del 1949. Nel 1972 si laurea in fisica con lode all'Università «La Sapienza» di Roma. Nel 1976 consegue il diploma di perfezionamento in fisica nucleare.
- Dal 1972 al 1979 è ricercatore sempre alla stessa università. Dal 1979 al 1986 è staff member della divisione teorica del CERN.
- Dal 1990 è professore ordinario di fisica teorica all'Università di Roma Tor Vergata. Ha pubblicato circa 170 lavori su riviste internazionali nel settore della fisica teorica.
- Dal 1° luglio 2004 è presidente dell'Istituto nazionale di fisica nucleare.

Il legame tra ricerca e scientifica e mondo industriale è un punto cruciale per la competitività delle nazioni, e da noi la situazione non è delle migliori. L'analisi dal titolo *Science and Engineering Indicators 2006*, della National Science Foundation statunitense, ha mostrato che nell'ultimo decennio il rapporto degli investimenti tra ricerca pubblica e privata si è sbilanciato a favore di quest'ultima. L'andamento è generale, sia dei paesi sviluppati sia dei paesi in rapida ascesa, con due sole eccezioni: Canada e Italia. E la nostra è una controtendenza pericolosa, perché influenza in negativo il tasso di innovazione tecnologica delle imprese. Sembra quindi inevitabile che la crescita della competitività delle aziende debba contare su una forte presenza della ricerca pubblica, anche con approcci diversi rispetto a quelli impiegati fino a oggi.

In questo scenario, l'Istituto nazionale di fisica nucleare (INFN) intende svolgere un ruolo di primo attore. Le 19 sezioni in cui è suddiviso l'INFN, più 11 gruppi collegati sul territorio che permettono di essere presenti nei dipartimenti di 31 Università su tutto il territorio nazionale, e i quattro laboratori (Gran Sasso, Frascati, Catania, Legnaro), danno vita a una struttura tentacolare. Oltre alla sua missione nella ricerca di base, nelle intenzioni di Roberto Petronzio, presidente dell'INFN, l'istituto dovrà anche essere sempre più luogo di innovazione delle imprese italiane, e un marchio di qualità.

Professor Petronzio, quella del marchio di qualità è sì una visione innovativa...

L'Italia ha una grande tradizione nel campo della fisica, corroborata nel tempo grazie a una serie di investimenti, anche lungimiranti. Oggi siamo tra i primi paesi al mondo nella conoscenza della fisica fondamentale, e l'idea è che ora questa scienza sia l'ambasciatrice dell'Italia nel mondo. Un'idea sempre più concreta, visto che come istituto riceviamo inviti e stimoli a rappresentare il nostro paese, a essere una delle bandiere nazionali oltre alla pasta e alle Ferrari. Siamo un marchio di qualità intellettuale che apre le porte a molti mercati, e questo è un aspetto dell'impatto che abbiamo sul sistema paese.

Per quanto riguarda l'altro?

È un impatto di tipo culturale. Non solo studiamo cose curiose, fenomeni che suscitano la curiosità delle persone. Ma il profilo di formazione che diamo alle persone che lavorano con noi è spendibile in diversi settori diversi dalla ricerca di base. Un fisico che gestisce o partecipa a esperimenti come quelli attuali diventa parte di un'impresa industriale molto complicata e complessa, e acquisisce notevoli competenze manageriali.

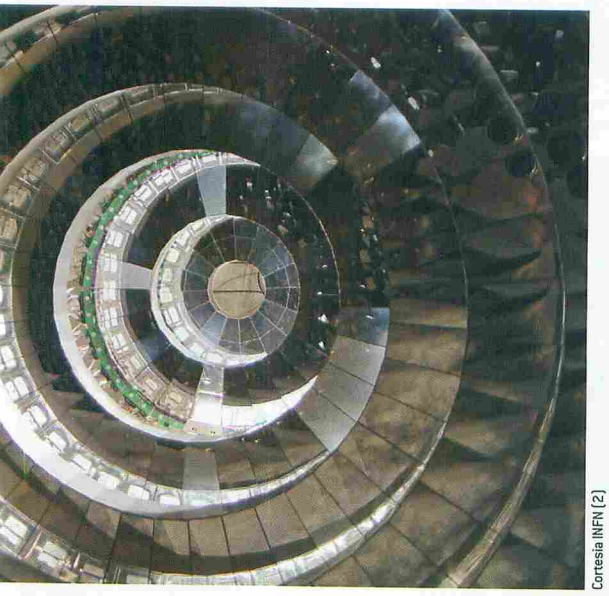
Come giocate il ruolo di innovazione tecnologica delle imprese?

In genere, gli strumenti che servono alle nostre ricerche sono oggetti unici e devono rispettare standard tecnologici sempre più elevati. Sono concepiti e costruiti nelle nostre strutture di ricerca, grazie a laboratori che hanno una capacità di produzione prototipale molto elevata. Una volta assemblato, il prototipo può essere ripreso dall'industria. A volte invece gli strumenti sono costruiti direttamente con componenti prodotti dalle industrie. In ogni caso, l'INFN resta al top della competizione con le istituzioni scientifiche straniere, ma permette anche di lanciare una sfida per l'innovazione tecnologica alle imprese italiane che lavorano con noi.

Non sembra una strategia diversa da quella dei vari poli tecnologici disseminati per l'Italia.

Di poli tecnologici ce ne sono stati tanti, ma in genere non sono stati molto fruttuosi. Io vorrei avere un approccio più sistematico, che in parte già è in atto. L'idea è presentare alle regioni, o anche all'Unione degli industriali, un pacchetto delle

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/



Cortesia INFN (2)

HI-TECH ITALIANO. Nella foto qui accanto una camera pulita dell'INFN in cui vengono allineate e messe a punto le ottiche per i fasci laser. Queste camere, strumenti estremamente costosi, sono utili anche nel settore dell'elettronica. Nella foto al centro, Chimera: un sistema che conta circa 700 rivelatori installati all'interno della camera a vuoto Ciclope presso la sede dell'INFN di Catania, e che è usato per studiare le reazioni tra ioni di elementi pesanti.

conoscenze e delle infrastrutture di cui l'INFN è depositario in modo da ottenere una risposta di interesse tematico. Questo è il punto, vorrei che a questa offerta di conoscenze seguano risposte di settori industriali specifici che vogliono interagire per poi creare uno strumento intermedio, che immagino consortile, autofinanziato, capace di stare sul mercato. Un luogo in cui il ricercatore fa un'esperienza industriale e l'industria misura le sue esigenze rispetto a linee di prodotti e competenze specifiche. Dovrebbe essere di un'interfaccia che permette di mettere in comune risorse e rendere più fluido il trasferimento tecnologico, l'integrazione tra innovazione di sistema e di prodotto, il fluire di personale specializzato nelle due direzioni.

La realtà italiana è fatta quasi esclusivamente di piccole e medie imprese, spesso restie a investire in tecnologia. Questo può essere un limite per voi?

No, e faccio un esempio. L'istituto dispone di «camere pulite», strumenti estremamente utili nell'elettronica ma molto costosi. Se una piccola o media impresa vuole partire in questo settore, sarà difficile che investa in una camera pulita se non è sicura che il prodotto varrà e frutterà un adeguato ritorno economico. Io mi aspetto che l'INFN, grazie a questa strategia di interazione con le Regioni, metta a disposizione le camere pulite proprio alle piccole e medie imprese. Ma è solo un esempio. Più in generale vogliamo essere un'infrastruttura di ricerca che può coprire una parte del rischio di impresa.

E come portate le imprese sui mercati esteri?

Faccio un altro esempio. Vogliamo chiudere un accordo con l'Istituto delle alte energie di Pechino, che raddoppia il suo budget ogni quattro anni. Intendiamo avere un programma scientifico comune con cui studiare i futuri acceleratori di particelle, i nuovi rivelatori e i nuovi materiali sensibili. Il tutto avrà caratteristiche di innovazione industriale. Per noi l'accordo è come una porta per le imprese che vogliono accedere al mercato cinese, e l'INFN sarà il loro biglietto da visita. L'idea è quella di un grosso workshop, da tenere in Cina, durante il quale ognuno mette sul tavolo anche le proprie aziende, seguito da workshop tematici, di cui uno riguarderà le ricadute industriali di questo tipo di ricerca.

I cinesi hanno già manifestato interesse per qualcosa?

Sono molto interessati all'adroterapia per la cura dei tumori, un campo in cui abbiamo due linee di ricerca. Stiamo costruendo un prototipo con cui erogare la terapia, e può essere un'occasione di crescita e sviluppo per le industrie italiane in grado di realizzare le componenti necessarie con elevato contenuto tecnologico. Poi saranno le industrie a commercializzare la macchina. Il mercato cinese è enorme, se anche solo il due per cento dei cinesi decide di andare in una direzione per le nostre imprese è un'opportunità enorme. Ma è interessante cominciare guardare anche ad altre realtà.

Vale a dire?

Tra qualche decina d'anni probabilmente avremo forti interazioni economiche con i paesi sull'altra sponda del Mediterraneo. L'INFN ha dei ponti con queste realtà, per esempio la sede di Catania, e stiamo collaborando con progetti di informatica.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

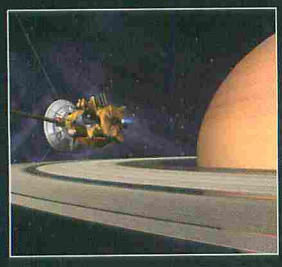
GÖTTSCHE.

www.lescienze.it

le Scienze

edizione italiana di SCIENTIFIC AMERICAN

PER SCOPRIRE UN ABBONAMENTO CHE TI FA RISPARMIARE FINO A € 40,00 NON DEVI ANDARE LONTANO.



ABBONARSI È CONVENIENTE
e la convenienza cresce con la durata dell'abbonamento

ABBONARSI È COMODO
e riceverai la tua rivista tutti i mesi a casa, e con la certezza del prezzo bloccato

ABBONARSI È FACILE
basta compilare la cartolina allegata ed imbucarla senza affrancatura.

ABBONAMENTO		RISPARMIO
annuale	€ 39,00	€ 7,80
biennale	€ 75,00	€ 18,60
triennale	€ 99,00	€ 41,40

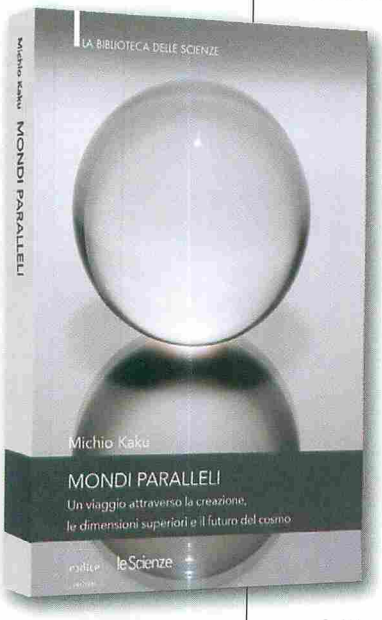
30% di sconto

10 NUMERI GRATIS

COMPILA E SPEDISCI LA CARTOLINA CHE TROVI INSERITA NELLA RIVISTA
O TELEFONA AL 199.700.721 O COLLEGATI A WWW.LESCIENZE.IT

Il fascino immortale degli altri universi

In edicola con «Le Scienze» di maggio *Mondi paralleli*, di Michio Kaku, un'esplorazione tra le più audaci teorie della cosmologia contemporanea



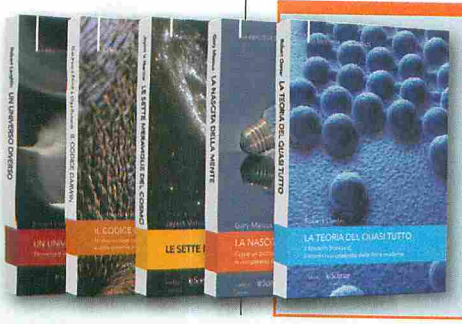
È mai possibile che l'universo in cui viviamo sia soltanto uno dei molti universi esistenti? È possibile che l'evento che diede origine a stelle e galassie, il big bang, sia solo uno dei tanti eventi di creazione che periodicamente si susseguono in una natura molto più vasta e complessa di quanto credevamo?

Sono domande, almeno la prima, che affioravano già nella riflessione di un gigante del pensiero come Giordano Bruno. E che ritornano prepotenti nella cosmologia del XX secolo, trovando oggi una sponda importante nei dati che ci arrivano da satelliti, telescopi spaziali, rivelatori a raggi X e raggi gamma.

La cosmologia non è più una scienza speculativa. Si fonda su osservazioni precise come solo trent'anni fa non avremmo potuto immaginare. E Michio Kaku – in *Mondi paralleli*, il volume che sarà in edicola con «Le Scienze» di maggio – prende spunto da questi dati per raccontarci l'universo come lo conosciamo, e come potrebbe essere. L'affresco dell'universo dipinto da Kaku comincia dal big bang, e dalle conoscenze che vanno accumulandosi dell'evento che 14 miliardi di anni fa diede vita al cosmo. Ci parla delle prove, raccolte negli ultimi anni, dell'inesorabile accelerazione dell'espansione cosmica. E si spinge a disegnare l'ultimo sospiro di questo universo irrequieto, il *big freeze*, quel gelo desolante in cui le galassie si troveranno disperse tra centinaia di miliardi di anni.

Ma è solo l'inizio. Perché poi, come lascia intendere il titolo, *Mondi paralleli* si snoda tra le più ardite teorie cosmologiche, offrendo uno scorcio su viaggi nel tempo, portali dimensionali, universi quantistici e quante altre fantasticherie sono state prodotte negli ultimi anni dalle riflessioni più profonde degli scienziati. E Kaku si spinge oltre il big freeze, fino a ipotizzare una civiltà così evoluta da saper progettare la fuga in un mondo parallelo, più accogliente e ospitale.

Tra i protagonisti della rivoluzione teorica che ha portato a elaborare la teoria delle stringhe, Michio Kaku insegna fisica all'Università di New York ed è conduttore del popolare programma radiofonico *Explorations*. Ma, soprattutto, è uno dei più brillanti divulgatori in campo cosmologico. E questo libro ne una notevole prova. Con uno stile accattivante e accessibile, Kaku traccia la storia recente della cosmologia anche attraverso una serie sterminata di aneddoti raccolti nelle sue conversazioni con personaggi del calibro di Steven Weinberg e Murray Gell-Mann, Leon Lederman e Alan Guth, Martin Rees, Brian Greene, Paul Davies. Il risultato è un viaggio sospeso tra leggi della fisica e visioni da fantascienza, alla ricerca dei futuri possibili.



Riservato agli abbonati

Sono disponibili, al prezzo di euro 7,90, i volumi della «Biblioteca delle scienze»: *Un universo diverso*, di R. Laughlin; *Il codice darwin*, di G. Biondi e O. Rickards; *Le sette meraviglie del cosmo*, di J.V. Narlikar; *La nascita della mente*, di G. Marcus; *La teoria del quasi tutto*, di R. Oerter. I volumi possono essere richiesti al servizio clienti: 199 700 721 (0228009519 per chi chiama da telefoni pubblici o cellulari); oppure via e-mail (lescienze.vendite@somedia.it); o per posta a Somedia Spa, Casella Postale 10399, 20111, Milano.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

Voglio Scrigno voglio l'originale

idb advertising.com

Controtelai Scrigno per porte e finestre scorrevoli.

Voglio più spazio, voglio più libertà e Scrigno fa scorrere porte e finestre nel controtelaio garantito 12 anni: originale, pratico, silenzioso, durevole. Il controtelaio Scrigno

lo riconosci anche se è montato: controlla il marchio nella guida di scorrimento, e sei sicura di avere l'originale Scrigno.

Solo dai Rivenditori Autorizzati

Numero Verde
800-314413

www.scrigno.net
scrigno@scrigno.it

SCRIGNO®

Qualità fatta per durare

SCRIGNO SpA via Casale 975 - 47822 S.Ermete di Santarcangelo (RN) - tel. +39 0541 757711 • fax +39 0541 757780

CONCORSO SCRIGNO & VINCI

Dal 1° Aprile al 31 Dicembre 2007

Se hai installato un controtelaio SCRIGNO tra il 1992 e il 31 dicembre 2007. In palio:

- 1 Mercedes classe A 150 Elegance
- 1 Vespa Piaggio LXV 50 2T
- 1 Crociera nel Mediterraneo di una settimana per due persone
- 5 Play Station Portable Sony
- 5 Ipod Shuffle Apple

Informazioni dai RIVENDITORI AUTORIZZATI e nel sito www.scrigno.net

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

di Edoardo Boncinelli

Università Vita-Salute
San Raffaele, Milano

Conservare e riciclare

Sappiamo da qualche tempo che i meccanismi biologici fondamentali sono incredibilmente conservati da una specie all'altra, ma continuiamo a stupirci quando ci troviamo davanti a un nuovo esempio del genere.

Questa volta è toccato a uno dei geni più famosi di tutta la biologia dello sviluppo: il gene *bicoid*. L'azione di questo gene, contenente una regione omeobox, è necessaria perché la drosofila nasca con la testa, o meglio con la sua parte anteriore. Se *bicoid* non funziona, la larva tende ad avere due parti posteriori, una in testa e una in coda, e ovviamente non va molto lontano. La proteina di *bicoid* è stata anche il primo esempio di sostanza che agisce come un morfògeno, cioè come un regolatore biologico che agisce sulla base della sua distribuzione nello spazio, che non sarà ovviamente uniforme.

Nell'uovo fecondato e nelle primissime fasi dello sviluppo del moscerino, questa proteina è più abbondante nella futura parte anteriore, e la sua densità declina via via che si passa a regioni posteriori. Si usa anche dire che questa proteina è distribuita secondo un gradiente di densità: tanta davanti e poi via via sempre meno. Quando cominceranno ad accendersi tutti gli altri geni, la densità locale della proteina di *bicoid* agirà appunto come regolatore della loro attività: dove ce n'è tanta si accenderanno certi geni, dove ce n'è poca se ne accenderanno altri, dove non ce n'è affatto se ne accenderanno altri ancora. È stata così definitivamente stabilita la polarità biologica lungo l'asse maggiore del corpo, quello antero-posteriore o cefalo-caudale. Semplice e geniale.

Resta però un problema. Come mai la proteina di *bicoid* è distribuita in questa maniera nell'uovo fecondato? La risposta è ancora semplice: l'RNA messaggero corrispondente è localizzato e confinato nella parte più anteriore dell'uovo ancora non fecondato. Dopo la fecondazione l'RNA messaggero comincia a essere tradotto: su di esso viene sintetizzata cioè la corrispondente proteina. Ma poiché la sorgente di tale proteina è in una posizione tutta anteriore, dopo qualche minuto ci saranno più molecole di quella proteina davanti che dietro. Davanti se ne sintetizza infatti sempre di nuova, mentre più dietro un certo numero di molecole proteiche vengono spontaneamente, progressivamente degradate. Di nuovo, tutto semplice.

Ma perché l'RNA messaggero di *bicoid* è confinato nella parte anteriore dell'uovo non fecondato? Per due ragioni. Primo, perché vi è stato inizialmente «iniettato» dalle cellule cosiddette nutrici che circondano l'uovo in via di sviluppo nella sua parte anteriore. Secondo, perché nell'uovo stesso ci sono particolari molecole che lo tengono lì ancorato. L'RNA messaggero in sostanza non si allontana dalla sua sede iniziale perché alcune molecole lo tengono confinato nella parte più anteriore dell'uovo. Queste molecole, prevalentemente ma non esclusivamente proteiche, lo riconoscono, lo «agganciano» e lo tengono fisso nella sua posizione. Ma quali sono queste molecole?

Jeremy Burgess/SPL/Grazia Neri

IL MOSCERINO *Drosophila melanogaster* (nella foto, un adulto mentre depone le uova) è uno degli strumenti principali della ricerca biologica.

In un lavoro appena uscito su «Nature», Uwe Irion e Daniel St Johnston hanno individuato la componente fondamentale del complesso proteico che tiene ancorato nella posizione iniziale il messaggero di *bicoid*, che si è dimostrato una vecchia conoscenza, presente nelle cellule di tutti gli organismi compreso il nostro, dove ha un ruolo fondamentale.

Si tratta di VPS36, una proteina facente parte del complesso ESCRT-II, incaricato di fare pulizia nelle cellule del corpo di quasi ogni specie vivente. Uno dei compiti principali del complesso in questione è quello di «richiamare» dentro la cellula, per poi distruggerle, le proteine che stanno sulla superficie della stessa e che hanno ormai esaurito il loro compito, perché si sono usurate o perché la loro presenza non è più richiesta. La proteina VPS36, in particolare, è capace di legarsi in maniera specifica all'RNA di *bicoid*, anche se isolata dalle cellule di un ranocchio.

Due sono le strategie della vita: conservare e riciclare. Come dire, riutilizzare quello che passa il convento. Altro che progetto intelligente...

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

La loro salute non ha prezzo

Prenota ora una visita veterinaria gratuita

Hill's Pet Nutrition, leader mondiale per l'alimentazione specializzata di cani e gatti
ed **A.N.M.V.I.,** Associazione Nazionale Medici Veterinari Italiani,
sono lieti di presentare la **2ª edizione della Stagione della Prevenzione.**
Dal 1° Marzo al 30 Aprile 2007 i veterinari aderenti all'iniziativa saranno a tua disposizione per effettuare
una **visita gratuita** per controllare la salute del tuo cane o gatto.

Chiama subito e trova il veterinario più vicino a te

Numero Verde
800-189 612

Stagione della Prevenzione

3ways - roma

A.N.M.V.I.
ASSOCIAZIONE NAZIONALE MEDICI VETERINARI ITALIANI

Con il patrocinio del
Ministero della Salute

Hill's™

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

POLITICHE DELLA RICERCA

La sfida dell'Europa

Il Settimo Programma Quadro aumenta i fondi. E riduce la burocrazia

Più cooperazione tra accademia e industria, più supporto alla ricerca di frontiera, più opportunità di carriera scientifica, più infrastrutture, più facilità nell'accesso ai finanziamenti. Ma soprattutto tanti, tanti fondi in più: oltre 50 miliardi di euro, con un aumento del 63 per cento rispetto al passato.

Sono queste le novità centrali del Settimo Programma Quadro europeo per la ricerca (in breve, FP7) lanciato lo scorso 7 marzo a Bruxelles in coincidenza con la cerimonia di consegna dei premi Descartes. Un programma che riflette concretamente la priorità che l'Europa attribuisce alla ricerca e all'importanza di conservare, e accrescere, la competitività europea nella società globale della conoscenza.

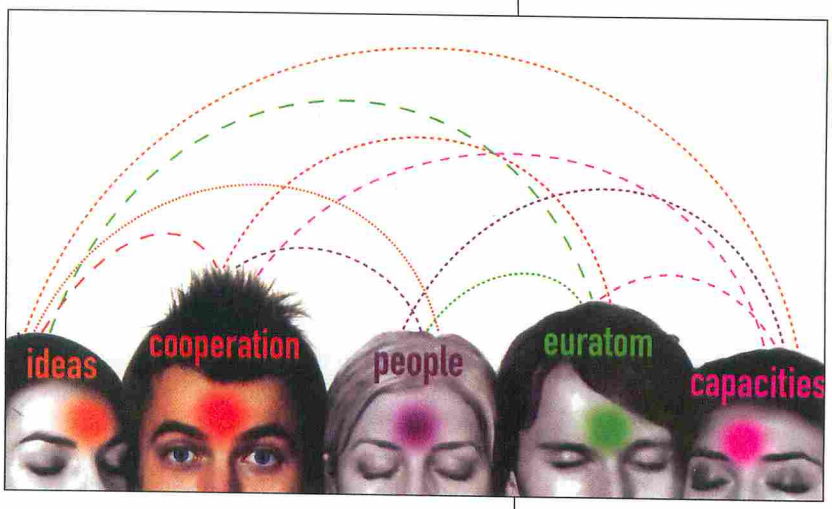
Il programma quadro, che durerà dal 2007 al 2013, si articola intorno a cinque grandi programmi specifici. A cominciare dalla «Cooperazione», che assorbe i due terzi del budget, ed è destinata a progetti di consorzi transnazionali industriali e accademici in dieci aree tematiche. Ma per la prima volta nei programmi di ricerca europei FP7 è aperto anche a singoli ricercatori o team nazionali, senza l'obbligo di collaborazione internazionale. Dei loro progetti (che devono riguardare ricerche di frontiera in qualunque area scientifica, inclusa quella umanistica) si occupa il neonato Consiglio europeo della ricerca (ERC) nell'ambito del programma «Idee».

Il programma «Persone» si interessa invece dello sviluppo delle carriere e della mobilità del personale di ricerca, a livello sia europeo che extracontinentale, con una specifica attenzione alla formazione dei giovani. Le infrastrutture per la ricerca, ma anche la ricerca per le piccole e medie imprese e il rapporto tra scienza e società sono di competenza del programma «Capacità». L'ultimo dei cinque programmi specifici, infine, riguarda il nucleare, e comprende la ricerca sulla fusione (in particolare il progetto ITER), la fissione e la radioprotezione, ma anche la gestione delle scorie e la sicurezza.

Insomma, tutte cose bellissime. Ma, come ben sanno i ricercatori che in passato hanno cercato di accedere ai fondi europei, a volte molto difficili da ottenere per la complessità delle procedure burocratiche. Ma l'FP7 dovrebbe aver posto rimedio anche a questo: da un lato semplificando le procedure, dall'altro istituendo «punti di contatto nazionali» (NCP) destinati a fornire «aiuto personalizzato e consigli ai ricercatori e alle organizzazioni che vogliono partecipare».

Anche in Italia? Pare di sì. Le informazioni sono sul sito www.cordis.europa.eu/fp7.

Claudia Di Giorgio



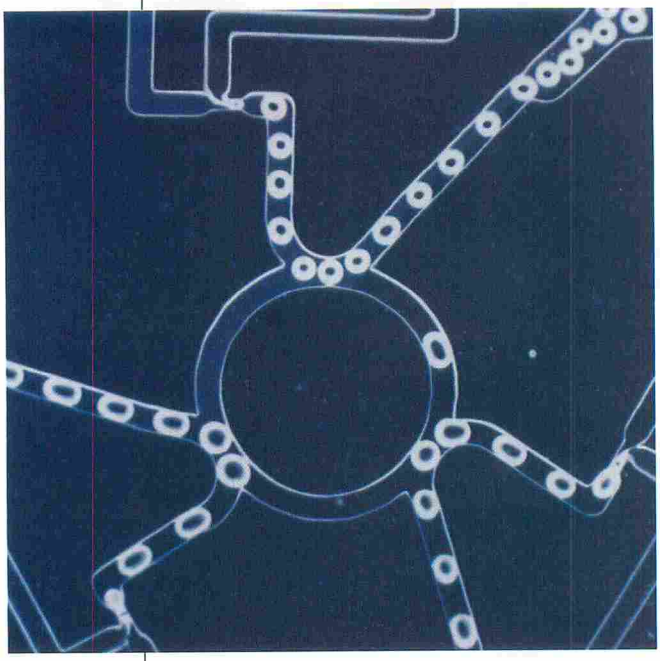
PREPARARE IL FUTURO. «Le risposte di domani cominciano oggi» è uno degli slogan del nuovo Programma Quadro europeo per la ricerca e la tecnologia, varato dalla Commissione Europea in armonia con gli obiettivi stabiliti dalla cosiddetta «strategia di Lisbona» sulla società della conoscenza.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

NANOTECNOLOGIE

Microcomputer a bolle

Un nuovo microchip basato su una combinazione di logica e chimica



Manu Prakash

IL PROCESSORE microfluidico ideato da due ricercatori del MIT è in grado di compiere tutte le operazioni logiche fondamentali di un normale *chip* a base di elettroni.

Un microchip a base di bolle di azoto e acqua. È l'ultimo passo avanti della microfluidica, una delle branche piú promettenti della nanotecnologia. Il chip è mille volte più lento dei normali microprocessori a elettroni, ma supera di un fattore cento la velocità dei precedenti chip microfluidici.

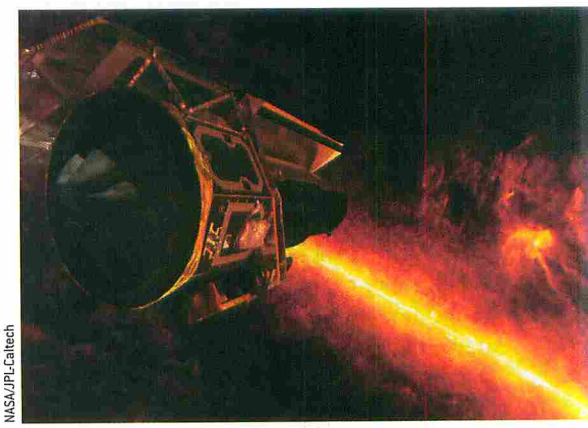
Questi chip sono veri e propri laboratori in miniatura. Reti di canali del diametro di pochi micrometri percorsi da picolitri di liquido che permettono di realizzare reazioni chimiche con materiali costosi o pericolosi in piccole quantità. Se si riuscisse a renderli portatili, diventerebbero «laboratori tascabili» indispensabili ai chimici del futuro, ma per ora per farli funzionare sono necessarie ingombranti pompe e valvole.

Ma il nuovo chip, annunciato su «Science» da Manu Prakash e Neil Gershenfeld, del MIT, potrebbe aggirare questo problema. Il suo funzionamento è infatti controllato dall'interno, attraverso bolle di azoto di dimensioni nano-

ASTRONOMIA

Com'è asciutto quel pianeta

I risultati delle prime osservazioni spettroscopiche di esopianeti



NASA/JPL-Caltech

LO SPITZER SPACE TELESCOPE (*a fianco, un'interpretazione artistica dello strumento in un cielo a infrarossi*), lanciato dalla NASA nel 2003, è stato il primo a catturare abbastanza luce di un pianeta extrasolare da consentire di identificare le molecole presenti nell'atmosfera.

Tre gruppi di astronomi hanno aperto una nuova era nello studio dei pianeti extrasolari, osservando spettroscopicamente l'atmosfera di due di essi. E l'importanza della ricerca non sta in ciò che hanno trovato, ma piuttosto in quello che non c'era: l'acqua.

La prima osservazione, guidata da David Charbonneau, dello Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, riguarda HD189733b, un pianeta che ruota attorno a una stella appena più piccola e fredda del Sole e che ha una massa superiore a quella di Giove. Il pianeta orbita molto vicino alla stella, tanto da avere una temperatura superficiale vicina ai 1000 gradi e compiere una rivoluzione in soli 2,2 giorni. Un'alta velocità di rotazione che ne fa un candidato ideale per le osservazioni periodiche, compiute con il telescopio spaziale a infrarossi Spitzer.

Secondo le previsioni teoriche, un pianeta di questo genere dovrebbe essere ricco di idrogeno e ossigeno che, per via delle elevate pressioni, devono per forza formare acqua. Ci si aspettava perciò che le righe dell'acqua fossero tra le caratteristiche dominanti dello spettro. E invece lo spettro misurato di HD189733b non mostra alcuna traccia di questa molecola.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

metriche che scorrono nel liquido. Dato che le bolle scelgono il cammino di minor resistenza, i ricercatori sono riusciti a disegnare circuiti in cui le bolle si muovono come elettroni in un processore. Per esempio nel chip ci sono camere in cui una bolla rimane intrappolata fino all'arrivo della successiva. O canali paralleli pensati perché due bolle si muovano in maniera sincronizzata. Generando bolle con piccole differenze di massa e di diametro, è possibile eseguire tutte le operazioni logiche fondamentali di un processore.

Secondo i ricercatori si tratta di una combinazione di logica e chimica senza precedenti. Infatti non è necessario che le bolle siano azoto e il liquido acqua. Ciò che conta è che le due sostanze siano immiscibili: un mix di acqua e olio funzionerebbe allo stesso modo.

Le bolle potrebbero essere usate per trasportare quantità precise di materiali e farle reagire secondo una serie di processi preprogrammati. Oppure si potrebbero introdurre nella bolla campioni biologici, accelerando la ricerca di nuovi farmaci. Il chip potrebbe anche servire come una memoria chimica, contenente centinaia di reagenti pronti a muoversi nella quantità desiderata verso un punto del chip desiderato.

Michele Catanzaro

La spiegazione potrebbe venire almeno in parte dalle osservazioni di un altro pianeta extrasolare molto simile, HD209458b. Lo spettro di questo corpo, studiato da Jeremy Richardson del Goddard Space Flight Center, è anch'esso privo di acqua, ma mostra tracce di silicati. Sulla Terra i silicati sono tra i componenti principali di molte rocce, ma nelle condizioni estreme di temperatura dei due pianeti dovrebbero piuttosto esistere sotto forma di grani sottili, che a loro volta formano nubi. In pratica, l'atmosfera dei due corpi sarebbe oscurata da uno spesso strato scuro di silicati.

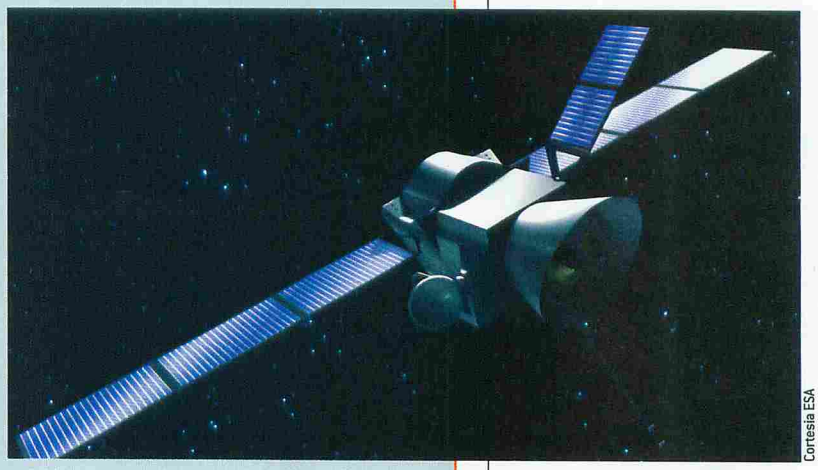
Ovviamente le osservazioni proseguiranno, sia per ottenere spettri più dettagliati dei due pianeti in questione sia per studiare gli altri 12 che periodicamente transitano dietro alle loro stelle, per i quali il metodo è applicabile. Fortunatamente, in un futuro magari non troppo prossimo, nuove missioni spaziali e nuovi strumenti terrestri dovrebbero permettere misurazioni molto più precise, per capire se effettivamente sono sbagliati i nostri modelli planetari o se semplicemente non si sono tenuti in dovuto conto altri fattori, come appunto la presenza di polveri di silicati.

Aldo Conti

L'Europa verso Mercurio

BepiColombo, la missione europea di esplorazione del pianeta Mercurio, si farà. L'ok ufficiale è arrivato a fine febbraio al termine della riunione del Science Programme Committee dell'Agenzia spaziale europea (ESA). Così dopo Giotto, Galileo e Cassini un altro italiano vedrà il proprio nome assegnato a una missione spaziale: Giuseppe Colombo (1920-1984), detto Bepi, lo specialista di meccanica celeste noto per aver ideato il «satellite al guinzaglio» (o *tethered*), ma anche autore di fondamentali studi sul moto orbitale di Mercurio, che gli permisero di scoprire la risonanza 3:2 fra il periodo di rotazione e quello di rivoluzione del pianeta (Mercurio compie tre rotazioni ogni due rivoluzioni). La missione BepiColombo, il cui lancio è previsto nel 2013, sarà frutto di una collaborazione con la JAXA, l'agenzia spaziale giapponese, e sarà composta da due satelliti: il Mercury Planetary Orbiter (MPO), realizzato dall'ESA e dedicato allo studio diretto del pianeta, e il Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO), che sotto la responsabilità della JAXA studierà la magnetosfera del pianeta. I due satelliti viaggeranno insieme per sei anni, assemblati al Mercury Transfer Module, il modulo ESA che fornirà alla «sonda composta» la propulsione necessaria per affrontare il complesso viaggio verso Mercurio, visitato finora solo dalla sonda Mariner 10 della NASA oltre trent'anni fa.

Emiliano Ricci



Cortesia ESA

MISSIONE PER DOPPIA SONDA. Il Mercury Composite Spacecraft, la sonda che porterà verso Mercurio i due satelliti della missione europea BepiColombo. Il viaggio della sonda, che sarà lanciata dalla base di Kourou, durerà circa sei anni, dopo i quali i satelliti studieranno il pianeta per almeno un anno.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

COSA SAREBBE LA POTENZA SENZA LO SPAZIO?

EURO NCAP ESPACE ★★★★★

RENAULT, LA MARCA PIÙ PREMIATA IN SICUREZZA.*

ESPACE

RENAULT CREATORI DI AUTOMOBILI

* Fonte EuroNCAP. ** Prezzo scontato New Espace 2.0 dCi 16V 130 CV, IVA e messa su strada incluse, IPT esclusa.

NEW ESPACE 2.0 dCi 16V 175 CAVALLI

Con il suo nuovo motore diesel, Espace dà alla potenza il migliore degli spazi per potersi esprimere. Mettetevi a vostro agio, liberate i 175 cavalli che avete a disposizione. Scoprirete un'accelerazione straordinaria, viaggerete in un incredibile silenzio, potrete apprezzare consumi ridottissimi. Comfort, spazio e prestazioni, tutto questo è sempre di serie sulla gamma New Espace.

CON MOTORI DIESEL DA € 25.900**

Emissioni CO_2 197 gr/km; consumi (ciclo misto) 7,4 l/100 km. Prenota la prova su strada su www.renault.it o al numero verde 800-830700.

FIA MANUFACTURERS' FORMULA ONE WORLD CHAMPIONS RENAULT 2005

FIA MANUFACTURERS' FORMULA ONE WORLD CHAMPIONS RENAULT 2006

Renault campione del mondo 2005 e 2006.

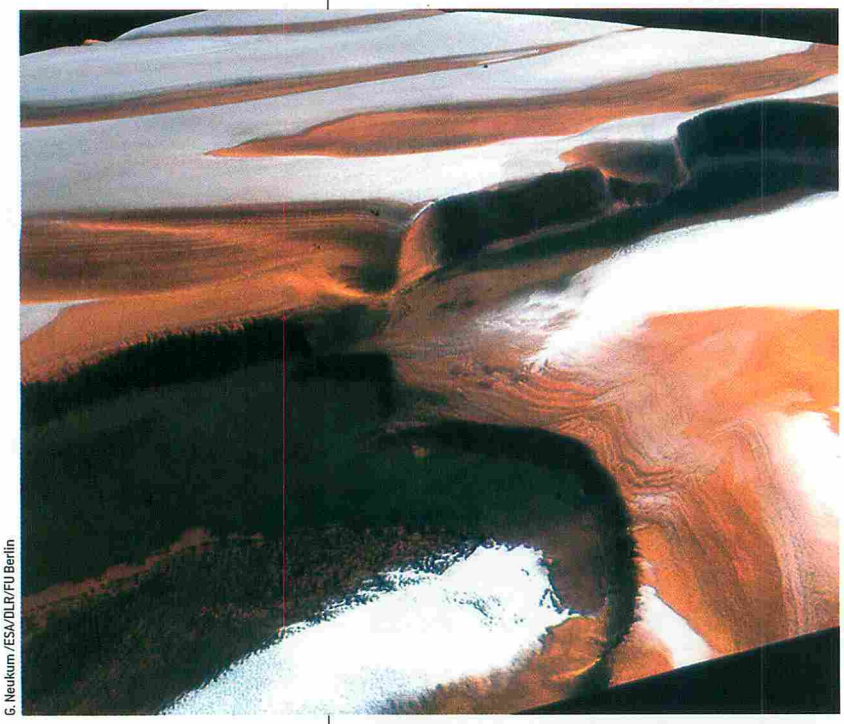
Subject to the official publication of the results by the FIA.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

ESOBIOLOGIA

Su Marte, fossile è meglio

La ricerca di fossili è più praticabile di quella di forme tuttora viventi



G. Neukum /ESA/DLR/FU Berlin

A CACCIA DI FOSSILI MARZIANI. Poiché su Marte l'acqua allo stadio liquido che potrebbe ospitare forme viventi si trova a profondità non raggiungibili con le tecnologie di cui oggi disponiamo, c'è chi sostiene che è meglio concentrarsi sulla ricerca delle tracce fossili di vita passata.

Per capire se Marte è, o almeno è stato, adatto alla vita, è meglio andare in cerca di fossili che di forme viventi. Ne è convinto Jack Farmer, geologo a capo del programma di astrobiologia dell'Arizona State University di Tempe, che ha presentato un suo studio all'ultimo meeting annuale dell'American Association for the Advancement of Science.

La ricerca di tracce di vita sul Pianeta Rosso può essere infatti condotta in due modalità alternative, che richiedono metodologie e strumenti d'indagine radicalmente diversi. E secondo Farmer l'unica modalità praticabile con le attuali tecnologie è la ricerca di eventuali tracce di vita passata, individuabili attraverso lo studio di antiche rocce, dove possono conservarsi come fossili. Esopaleontologia, insomma, invece di esobiologia.

L'individuazione di forme viventi su Marte richiede infatti la presenza di acqua allo stato liquido. Purtroppo, però, questo stato è instabile sulla superficie marziana, ragione per cui l'uni-

Cosa si nasconde sotto i ghiacci antartici?

Sotto i ghiacci perenni dell'Antartico si nascondono oltre 150 laghi, ritenuti finora ambienti isolati. Un articolo apparso su «Nature» mostra invece come questi laghi, detti subglaciali, siano collegati tra loro a formare una complessa rete che influenza i movimenti delle masse di ghiaccio sovrastanti. Secondo questo studio, condotto da Robin Bell, dell'Earth Institute della Columbia University, l'acqua presente sotto le calotte di ghiaccio, la stessa che mette in comunicazione i laghi, avrebbe un ruolo cruciale anche nel distaccamento dal continente di masse di ghiaccio che poi diventano iceberg una volta raggiunto il mare.

«Il meccanismo che provoca lo scivolamento dei blocchi – spiega Bell – non è stato ancora chiarito, ma abbiamo dimostrato che è il legame tra spostamento dei ghiacci e variazione di volume dei laghi e dei canali d'acqua sottostanti». Lo studio si basa sull'osservazione di immagini satellitari della zona orientale dell'Antartico, mentre la dinamica dei flussi di acqua e di ghiaccio è stata seguita con un radar interferometrico. L'interesse scientifico per i laghi antartici, iniziato negli anni sessanta con la scoperta del primo lago vicino alla base di Vostok, non si limita alla glaciologia. I laghi subglaciali infatti sono ambienti estremi, soggetti a pressioni di oltre 300 atmosfere e a temperature sotto lo zero, e il loro relativo isolamento ha fatto pensare a questi ambienti come possibili ecosistemi adatti a forme di vita particolari. La ricerca di Bell delinea una realtà diversa, in cui i laghi subglaciali sarebbero elementi dinamici, di cui tener conto anche per valutare fenomeni come l'innalzamento del livello del mare e i suoi effetti sul clima. «È come se i laghi subglaciali – conclude Bell – catturassero tutta l'energia geotermica proveniente dal basamento roccioso del continente e la rilasciassero, con tempi e modalità ancora da chiarire, ai canali, i cosiddetti *ice stream*, su cui i ghiacci scivolano muovendosi verso il mare».

Valentina Domenici

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

co luogo in cui è possibile trovare acqua liquida è il sottosuolo del pianeta. Ma a quali profondità? L'acqua satura il terreno alle alte e alle basse latitudini, in prossimità dei poli, qualche centimetro sotto la superficie, dove però è sempre ghiacciata. Per trovare ambienti umidi occorrerebbe insomma scendere molto più in basso, forse addirittura di qualche chilometro.

«Ma con le nostre attuali tecnologie robotiche non siamo in grado di trivellare così in profondità», sostiene Farmer. «Saremo fortunati se, nei prossimi dieci anni, trivellaggi robotizzati raggiungeranno la profondità di un paio di metri». Ecco perché occorre dedicarsi alla ricerca di fossili, rintracciabili anche in superficie, e in particolare nelle zone dove l'acqua ha lasciato ampie tracce della sua presenza allo stato liquido nel lontano passato del pianeta.

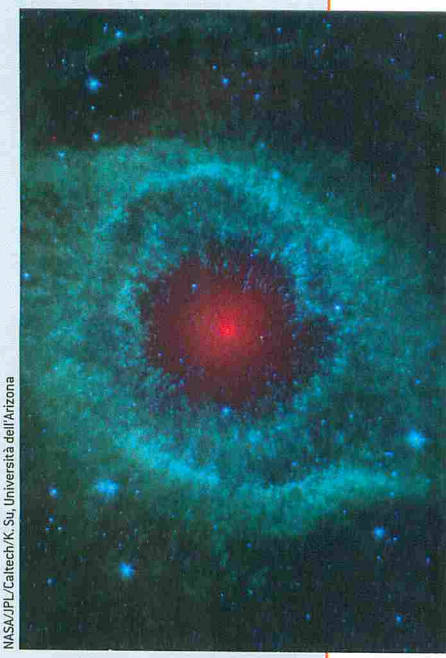
Secondo Farmer, i fossili marziani potrebbero presentarsi anche sotto forma di stromatoliti, le più antiche testimonianze di vita sulla Terra (datate a circa 3,5 miliardi di anni fa), strutture organiche di tipo sedimentario prodotte dall'attività vitale dei primi organismi unicellulari. Un suggerimento importante per il tipo di «caccia» che dovrà condurre il prossimo rover della NASA, il Mars Science Laboratory, il cui lancio è previsto per il 2009.

Emiliano Ricci

Nebulosa planetaria con comete

La nebulosa Elica (NGC 7293) è una delle nebulose planetarie più studiate, perché dista appena 700 anni luce in direzione della costellazione dell'Acquario. Grande sorpresa hanno quindi destato le recenti osservazioni del telescopio Spitzer, che ha trovato la nana bianca centrale – ultimo stadio evolutivo di una stella simile al Sole – immersa in una nube di polveri. Polveri che non dovrebbero trovarsi lì, considerato che la stella, morendo, ha espulso i suoi strati esterni, andati appunto a comporre l'anello di gas e polveri che la circonda. Secondo Kate Su, dell'Università dell'Arizona, prima autrice di una nota pubblicata su «Astrophysical Journal Letters» del 1° marzo, l'unica spiegazione plausibile è che quelle polveri siano generate da continue collisioni in un «deposito» di comete simile alla nostra nube di Oort, sopravvissuto anche alle fasi finali della stella.

Emiliano Ricci



NASA/JPL/Caltech/K. Su, Università dell'Arizona

Ai disturbi gengivali rimangono solo 21 giorni.

Prova i benefici di meridol®. Test clinici dimostrano che il fluoruro amminico/fluoruro stannoso contenuto nei prodotti meridol® aiuta a ridurre l'infiammazione gengivale in **soli 21 giorni***.

La sua speciale formulazione contribuisce ad inattivare la placca residua ed inibire la formazione di nuova placca batterica, causa principale del processo infiammatorio.

L'uso combinato di dentifricio, collutorio e spazzolino meridol® ne aumenta gli effetti benefici.

Provalo. In farmacia.

* Künzel W. et al. 1990. Quintessenz 41(11):1813-24.

meridol®
Balsamo per le gengive.

Numero Verde 800-903010 Per maggiori informazioni sui prodotti meridol®

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Perché iniziammo a parlare

Uno studio sui robot aiuta a capire come è nata la comunicazione

Costruire una colonia di robot intelligenti e studiare le condizioni in cui gli automi imparano spontaneamente a comunicare fra loro. Con questo esperimento un gruppo di ricercatori del Politecnico di Losanna ha cercato di fare luce su una delle incognite più complicate dell'evoluzione. Ovvero, l'emergere della capacità di comunicare delle specie sociali, dalle formiche all'uomo.

Questo evento non ha lasciato tracce nel registro fossile, e realizzare esperimenti con le specie altamente sociali che hanno questa capacità è troppo complicato. La comunicazione sembrerebbe un controsenso evolutivo. Un gruppo che comunica è più efficiente nella ricerca delle risorse, ma per un individuo condividere l'informazione vuol dire prima di tutto aumentare la competizione per il cibo. Nello studio pubblicato su «Current Biology», Dario Floreano e colleghi dispongono dei robot in un'arena all'interno della quale si trovano una fonte di cibo e una di veleno. I robot possono comunicare tra loro la natura delle fonti emettendo segnali luminosi, e che lo facciano o meno dipende dal loro «genoma artificiale».

All'inizio dell'esperimento il genoma è casuale, una situazione in cui solo alcuni robot hanno la capacità di comunicare. Lo svantaggio del farlo è che solo otto dei dieci robot presenti in ogni esperimento possono disporsi intorno alla fonte di cibo. La generazione successiva di robot è prodotta scegliendo fra i genomi della prima generazione quelli associati a un maggior successo nella ricerca di risorse. Con questo meccanismo i ricercatori hanno studiato 100 comunità di dieci robot per 500 generazioni, e hanno verificato che in quasi tutti i casi la «selezione naturale» favorisce le comunità in grado di comunicare. I robot sviluppano diversi sistemi di comunicazione, più o meno efficienti (per esempio segnalare il cibo invece del veleno). Ma una volta che una comunità ha scelto un linguaggio, difficilmente lo cambia per un altro, anche se più efficace. Proprio come accade con i diversi «dialetti» del linguaggio delle vespe.

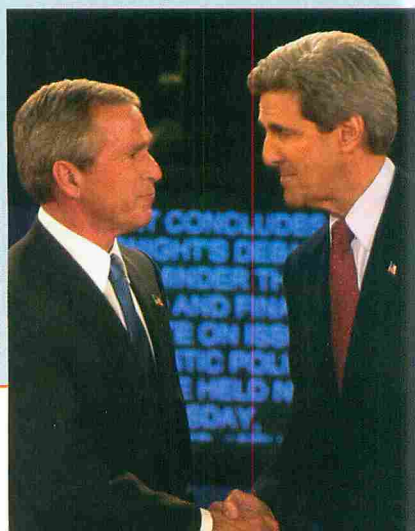
PRIMA DEL VOTO. George W. Bush e John Kerry durante il confronto televisivo che ha preceduto quello elettorale. Sulla vittoria di Bush pesano i sospetti di brogli nel conteggio dei voti in Ohio.

La statistica dei brogli elettorali

Ricontiamo o non ricontiamo? È stato il ritornello del dopo-elezioni dello scorso anno, trascorso fra reciproche accuse di brogli tra le due coalizioni. Ma Walter Mebane, statistico e politologo della Cornell University, ha trovato un modo più rapido ed economico del riconteggio delle schede per confermare i sospetti.

Il metodo, che Mebane ha illustrato alla riunione della American Association for the Advancement of Science, richiede poco più che carta e penna. Basta prendere i risultati dei singoli seggi in una determinata area geografica e isolare la seconda cifra del totale dei voti andati a ogni candidato o partito: per esempio «5» se in quel seggio quel partito ha preso 451 voti. Come Mebane ha mostrato, analizzando decine di elezioni svoltesi in diversi paesi, le seconde cifre hanno una distribuzione caratteristica: gli zeri sono il 12 per cento, gli uno l'11,4 e così via, passando per i 4 che sono il 10 per cento esatto, fino ai nove che sono appena l'8,5 per cento.

Perché concentrarsi sulle seconde cifre? La



Charlie Riedel/AP/LaPresse

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

ESPERIMENTO EVOLUTIVO.
I robot dell'esperimento condotto da Dario Floreano e colleghi sono disposti intorno alla fonte di cibo. L'esperimento ha identificato alcuni fattori che favoriscono l'evoluzione, o meno, della capacità di comunicare tipica delle specie sociali.

Cortesia Dario Floreano/LIS/EPFL

La selezione naturale favorisce le comunità che non comunicano quando si combinano due fattori: un meccansimo di selezione che premia non le comunità ma gli individui più efficienti, e la presenza nella comunità di genomi molto differenti fra loro. Se non c'è un vantaggio evolutivo associato alla comunicazione, l'unica giustificazione per la sua affermazione è la somiglianza genetica fra i membri della comunità. Come accade per le formiche, che comunicano con i feromoni.

Michele Catanzaro

Luce sul campo di battaglia

Un fascio laser di potenza mai raggiunta prima sembra aprire la strada per lo sviluppo di nuove applicazioni belliche. Un gruppo di ricercatori del Lawrence Livermore National Laboratory guidati da Bob Yamamoto ha costruito un laser a diodi di 67 chilowatt di potenza, e spera di superare la soglia di 100 entro la fine dell'anno. Un simile laser è descritto come un'arma difensiva perfetta, per esempio nella protezione da missili e colpi di mortaio, ma ci si possono aspettare anche ruoli offensivi, anche se finora in campo bellico questa tecnologia non ha mai mantenuto le promesse. Gli unici laser di potenza adeguata sono quelli chimici, ma sono pericolosi da far funzionare e richiedono un continuo rifornimento di gas, il che li rende poco adatti all'impiego sul campo. Il laser sviluppato da Yamamoto è una matrice di diodi infrarossi che emette un fascio di impulsi con frequenza pari a 200 hertz. Concettualmente si tratta di uno strumento molto semplice, ma i ricercatori hanno vinto la sfida di ottenere un fascio di buona qualità ottica, che possa essere focalizzato su una piccola area. Una versione precedente, più piccola, dello strumento, da 25 chilowatt è in grado di perforare due centimetri di acciaio in sette secondi. Secondo Yamamoto, un laser a diodi da 100 chilowatt potrebbe essere alloggiato in un container lungo nove metri e, in condizioni atmosferiche favorevoli, avrebbe una portata di vari chilometri.

Aldo Conti

prima dipende dal numero complessivo di votanti in quella circoscrizione, e non può avere una distribuzione casuale; la terza non sempre c'è. Quanto ai motivi della distribuzione, in parte sono misteri della statistica, anche se Mebane ha illustrato un modello matematico che, combinando variabili sociali e demografiche e la probabilità di errori durante la votazione, rende conto di questo fenomeno. Fatto sta che i brogli sistematici alterano in modo evidente questa distribuzione.

Un esempio citati da Mebane riguarda le ultime tre elezioni in Bangladesh: mentre quelle del 1991 e del 1996 sono state ritenute regolari, quelle del 2001 sono state contestate dalle opposizioni. E in effetti, mentre per i dati del 1991 le seconde cifre sono tutte al posto giusto, in quelli del 1996 compare un due per cento di risultati sospetti, che arriva al nove per le elezioni del 2001. Qualcosa non torna anche nei risultati della sfida Bush-Kerry del 2004 in Ohio, decisivi per la corsa alla Casa Bianca e duramente contestati dai Democratici, che documentarono diverse irregolarità in sede di spoglio. Delle 88 contee dello Stato, 21 hanno dati sospetti.

Nicola Nosengo

scienza NEWS

VERITÀ SULLE TALPE: SORDO A CHI?

Le talpe ci vedono e ci sentono poco. Potremmo pensare che, passando la vita sotto terra, non abbiano bisogno di una vista acuta e un udito sensibile. In realtà, proprio perché al buio, i mammiferi sotterranei contano molto sul sistema uditivo, sia per comunicare sia per avvertire i pericoli. E, pur percependo un intervallo di frequenze limitato, le talpe hanno un ricco repertorio vocale e mostrano specializzazioni strutturali progressive dell'orecchio medio e interno. Allora come mai sono quasi sorde? La teoria più popolare, sostenuta anche da alcuni scienziati, vuole che le ridotte capacità siano il residuo di un udito degenerato nel corso dell'evoluzione a causa della bassa stimolazione. Ma un nuovo studio, pubblicato su «Naturwissenschaften», ribalta questa spiegazione sostenendo l'opposto: il problema è l'iperstimolazione. Biologi e zoologi dell'Università di Duisburg-Essen hanno studiato l'acustica delle tane della specie africana *Fukomys*. Hanno così scoperto che sotto terra i suoni a bassa frequenza (tra 200 e 800 hertz), come quelli prodotti da animali o persone che camminano sul suolo, sono amplificati. Per le talpe, dicono i ricercatori, è come vivere in uno stetoscopio. Questi mammiferi, quindi, avrebbero progressivamente abbassato la sensibilità uditiva per l'eccessivo e fastidioso rumore del loro ambiente naturale.

Daniela Cipolloni

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

GENETICA

Nuovi indizi sull'autismo

Identificata un'anomalia cromosomica alla base della malattia

I primi risultati del più vasto studio sulle basi genetiche dell'autismo, l'Autism Genome project, sono stati appena pubblicati su «Nature Genetics» e hanno permesso di fare importanti passi in avanti nella comprensione della malattia.

L'Autism Genome Project coinvolge oltre 120 ricercatori di 19 paesi e circa 50 enti di ricerca. I risultati appena pubblicati si basano su indagini condotte su circa 1200 famiglie con uno o più figli colpiti da autismo. I geni che sembrano essere coinvolti nelle diverse forme di autismo sono una trentina, cinque o sei dei quali avrebbero però un'influenza molto più marcata nella sua eventuale insorgenza.

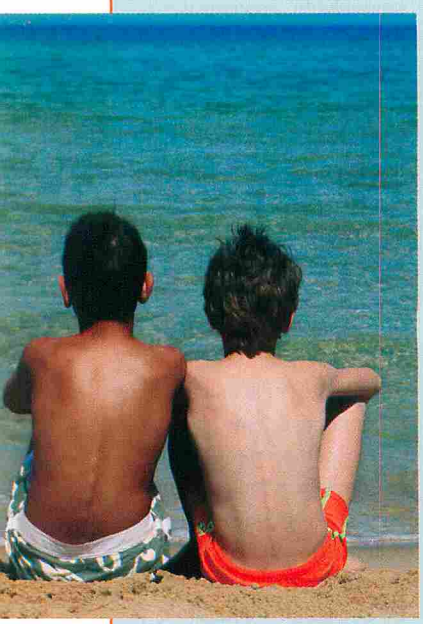
Solo il dieci per cento dei casi di autismo può essere attribuito a un problema relativo a un singolo gene o ad anomalie cromosomiche che influenzano la struttura cerebrale del nascituro. Le anomalie cromosomiche potrebbero riguardare dal sette all'otto per cento delle persone autistiche. «Tuttavia – avverte Joachim Hallmayer, della Stanford University – i test standard non sono in grado di identificare molte di queste sottili aberrazioni cromosomiche». I risultati delle analisi di linkage, un'analisi che si basa sullo studio dei polimorfismi del DNA delle famiglie interessate, mostrano che alcune porzioni del cromosoma 11 e del cromosoma 15 sono candidate a essere le principali regioni interessate alla suscettibilità all'autismo.

Nel corso della ricerca è stata evidenziata in particolare messa l'importanza di una delezione nel gene che codifica per la proteina denominata neurexina 1: «Si tratta di una proteina che consente a un neurone di entrare in contatto con un altro neurone», spiega Gerard Schellenberg, dell'Università di Washington. «A volte non si ha idea di che cosa faccia un determinato gene – precisa Schellenberg – ma in questo caso sappiamo che la neurexina 1 è coinvolta nei siti in cui viene rilasciato il neurotrasmettitore glutammato, una sostanza chimica già coinvolta nell'autismo».

«Questi risultati – osserva Hallmayer – devono comunque essere completati con una più raffinata mappatura genetica relativa ad altri geni "candidati". E dobbiamo anche guardare più attentamente alle anomalie cromosomiche identificabili in gruppi numerosi di bambini affetti da autismo».

Gianbruno Guerrerio

DNA sotto il Sole



Mauro Fermariello/SPL/Grazia Neri

Basta un picosecondo, un milionesimo di milionesimo di secondo, per bruciare il DNA. Tanto impiegano i raggi ultravioletti (UV) a scatenare una reazione chimica che danneggia la doppia elica, con conseguenze a livello cellulare che vanno dalla scottatura solare fino all'insorgenza di tumori della pelle.

Ricercatori della Ohio State University e i dell'Università di Monaco hanno fotografato per la prima volta l'evento in tempo reale. Quello che hanno scoperto, e annunciato su «Science», è che l'entità del danno dipende principalmente dalla configurazione del DNA nel momento in cui è colpito dalle radiazioni e che la reazione avviene a una velocità sorprendentemente alta.

Occasionalmente l'assorbimento di raggi UV da parte del DNA può alterarne la struttura, e l'occasione è data dalla presenza ravvicinata di due basi di timina in mezzo a tre miliardi di coppie nucleotidiche che compongono la doppia elica. In queste circostanza, i raggi UV innescano la formazione di legami molecolari dove non dovrebbero esserci tra due timine contigue.

E se finora si è creduto che quanto maggiore è l'esposizione alla luce ultravioletta, tanto più alta è la probabilità di ripercussioni sul DNA, lo studio dimostra che non è così: «Alcuni stati di eccitazione energetica del DNA generati dall'assorbimento di UV durano a lungo, altri poco. E i secondi sono i più pericolosi», spiega Bernd Kohler, chimico della Ohio State University. Anche se lo studio è stato condotto su molecole di DNA a nudo, non all'interno della cellula, i ricercatori ritengono di aver scoperto il primo effetto indotto dalle radiazioni solari, aprendo la strada a un nuovo approccio per comprendere le alterazioni del DNA.

Daniela Cipolloni

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

"Al primo incontro stupisce per il carattere scontroso.
Il secondo assaggio coinvolge i sensi.
La terza volta conquista con l'intensità del gusto."

Bevi Unicum® responsabilmente

UNICUM® | Scelta di carattere.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

IMMUNOLOGIA

Un destino da linfocita

Scoperto il meccanismo che decide il ruolo delle cellule immunitarie

Come fanno le cellule del sistema immunitario a «decidere» se trasformarsi in soldati pronti a combattere (cellule effettrici) o in riserve che dovranno ricordarsi dell'invasore in caso di un eventuale secondo incontro (cellule della memoria)? Un enigma dell'immunologia che ha finalmente trovato una risposta. A decidere, almeno nel caso dei linfociti T, sarebbe l'ineguale distribuzione di alcune proteine tra le cellule figlie di un unico precursore attivato dal contatto con l'agente estraneo. A seconda del corredo di proteine ereditato, ciascuna di queste cellule figlie diventa o un'effettrice o una cellula della memoria. E il meccanismo con cui avviene è descritto da Steven Reiner e colleghi, dell'Università di Philadelphia, in un articolo apparso a marzo nell'edizione on line di «Science».

In pratica succede questo: al suo ingresso nell'organismo, l'agente invasore viene intercettato da cellule specializzate che lo fagocitano, lo rielaborano ed espongono sulla superficie le sue molecole caratteristiche (gli antigeni), un po' come se esponessero un identikit molecolare del nemico. Poi queste cellule prendono contatto con dei linfociti T ancora non specializzati. Il contatto stimola la divisione dei linfociti in cellule figlie e soprattutto, questa la nuova scoperta, coordina una distribuzione asimmetrica di alcune proteine durante la divisione. Le figlie, quindi, non sono perfettamente uguali, ma hanno un corredo proteico e un aspetto differenti: alcune sono più grandi e granulose, e diventeranno cellule effettrici. Altre, più piccole e lisce, cellule della memoria.

Secondo i ricercatori, questa scoperta potrebbe avere importanti ricadute nella ricerca su nuovi vaccini: «Finora, sapevamo che per combattere un'infezione sono necessari più tipi cellulari diversi, ma non conoscevamo la sequenza di eventi che porta a generare questa diversità. Ora abbiamo questa informazione e non è escluso che ci servirà per produrre vaccini più efficaci e specifici», spiega Reiner.

Valentina Murelli

PREMIO NOBEL. Barry Marshall (*nella foto*) ha vinto il premio Nobel per la medicina del 2005 con Robin Warren per gli studi su *Helicobacter pylori* con cui hanno dimostrato il legame tra il batterio e l'ulcera. Oggi la scoperta che esistono diversi ceppi di *H. pylori* ha permesso di verificare che il batterio si è evoluto insieme a *Homo sapiens* nelle sue migrazioni in tutto il pianeta.

L'evoluzione parallela di Helicobacter pylori

ANSA/LaPresse

Il batterio *Helicobacter pylori*, protagonista del Nobel per la medicina del 2005, di recente è salito agli onori della cronaca grazie a uno studio di Mark Achtman, genetista del Max-Planck-Institut di Berlino. Lo scienziato tedesco ha individuato ceppi diversi del batterio in diverse popolazioni del mondo, una scoperta che ha posto un ulteriore quesito ad Achtman e colleghi: esiste un legame tra la storia evolutiva di *Helicobacter pylori* e quella di *Homo sapiens*?

Secondo la teoria più accreditata, i nostri progenitori lasciarono l'Africa orientale circa 60.000 anni fa, si spinsero verso nord-est migrando nel Sudest asiatico attraverso l'India e cominciarono così a diversificarsi geneticamente. *H. sapiens* raggiunse l'Europa circa 40.000 anni fa e più recentemente il continente americano. La storia della conquista umana del globo si rivela negli studi genetici grazie alle differenze nucleotidiche (cioè dei mattoni fondamentali che costituiscono il nostro DNA) che le diverse popolazioni umane presentano. Ed è in questo ambito di comparazione genetica che ha operato Achtman per trovare un'eventuale legame evolutivo tra noi e il batterio. Il suo gruppo di ricerca ha confrontato le differenze che si riscontrano nel DNA di ceppi di *H. pylori* provenienti da diverse regioni del mondo con quelle delle popolazioni umane, e ha trovato uno straordinario parallelismo: i risultati mostrano chiaramente identici segni di migrazione e successivo isolamento delle popolazioni di *H. sapiens* e *H. pylori*.

La ricerca, recentemente pubblicata su «Nature», rivela dunque uno scenario affascinante: quando *Homo sapiens* lasciò l'Africa, portò con sé un microscopico compagno di viaggio, che a sua volta migrò e si differenziò nei vari sottogruppi che oggi la genetica riscontra. Il batterio *Helicobacter pylori* è quindi un ottimo candidato per chiarire gli ultimi dubbi sull'odissea di *Homo sapiens* dall'Africa al mondo intero.

Paola Nardi

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

Accelerazioni evolutive

Un modello matematico prova a spiegare perché l'evoluzione accelera

L'evoluzione accelera, e nessuno sa perché. Ci sono voluti due miliardi e mezzo di anni per produrre forme di vita pluricellulari, e meno di un miliardo per generare la grandissima varietà di piante e animali che osserviamo oggi. Un modello pubblicato su «Physical Review Letters» e un articolo di accompagnamento su «Physics Today» suggeriscono la soluzione del mistero. L'adattamento delle specie è sempre più veloce perché virus e batteri possono trasferire geni da una specie all'altra. E la selezione naturale favorisce genomi e organismi composti di parti indipendenti, che possono combinarsi in modi sempre più efficaci.

Finora l'evoluzione biologica era considerata l'effetto principale di mutazioni puntiformi, che colpiscono singole lettere della sequenza del DNA, effetto abbinato alla riproduzione, ovvero la trasmissione «verticale» dei caratteri. Ma la genomica moderna sta rivelando l'importanza del trasferimento «orizzontale», cioè del passaggio di DNA da un individuo all'altro, anche fra specie diverse. L'importanza di questo processo negli organismi pluricellulari appare controversa a molti scienziati, ma non a Michael Deem, della Rice University. «Sappiamo ormai che buona parte del genoma di alcuni animali, esseri umani compresi, e piante deriva da inserzioni orizzontali», sostiene Deem.

Deem ha costruito il primo modello che incorpora l'effetto del trasferimento orizzontale, e che mostra un più rapido ed efficiente adattamento. Su «Physics Today», Deem espone la sua ipotesi generale, ancora non confermata. La selezione naturale ha favorito genomi, proteine e organismi dotati di struttura modulare. Geni e organi, cioè, si sono evoluti come elementi indipendenti e funzionali. Un vantaggio, perché questi «mattoncini» possono ricombinarsi in modi sempre diversi sia nei membri di una specie sia in specie diverse. Man mano che evolvono nuovi mattoncini, le possibili combinazioni aumentano, e gli organismi sono sempre più adattabili.

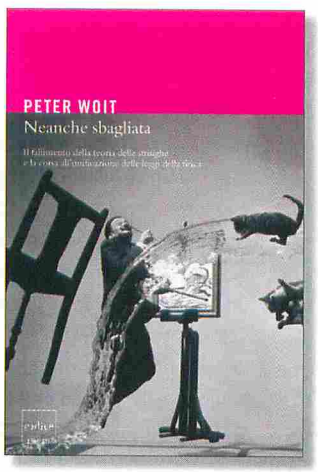
Daniele Fanelli

La scienza ha bisogno di storie

Codice Edizioni s.r.l.
via Carlo Alberto 43
10123 Torino
t +39.011.19700579
f +39.011.19700582
www.codiceedizioni.it
info@codiceedizioni.it

codice EDIZIONI

Di cosa parliamo quando parliamo di medicina
A cura di Daniela Minerva e Giancarlo Sturloni
pp. 180, ISBN 978-88-7578-073-9
euro 11,00. In uscita a maggio



Peter Woit
Neanche sbagliata
Il fallimento della teoria delle stringhe e la corsa all'unificazione delle leggi della fisica
pp. 300, ISBN 978-88-7578-072-2
euro 24,00. In uscita a maggio

Quando parliamo di medicina di fatto parliamo di teorie e immagini; non parliamo mai di carne e sangue, che invece ne sono l'oggetto.

D. Minerva, G. Sturloni

Questo libro si propone di raccontare una storia complicata, una storia che potrà interessare lettori con profili culturali molto diversi tra loro.

Peter Woit

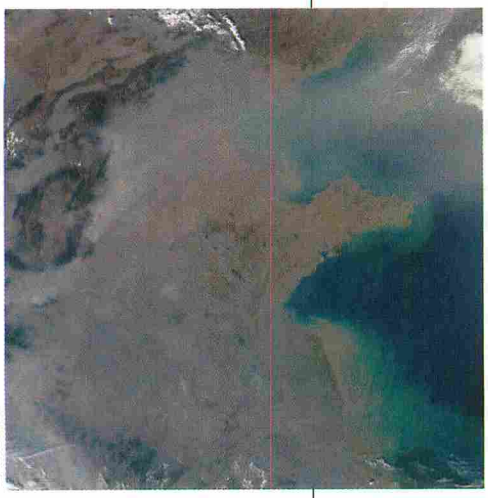
http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

CLIMATOLOGIA

Tempeste asiatiche sul Pacifico

L'inquinamento di Cina e India sta alterando il clima dell'oceano

La fuliggine asiatica aumenta le tempeste nell'Oceano Pacifico. Lo dimostra uno studio sui «Proceedings of the National Academy of Sciences», che ha analizzato vent'anni di dati satellitari. L'aumento di emissioni delle centrali a carbone, soprattutto cinesi, è connesso a un aumento delle nubi temporalesche. E, oltre a intensificare le piogge, rischia di alterare la circolazione atmosferica, accelerando inquinamento e riscaldamento globale.



Cortesia NASA/MODIS Team

MADE IN CHINA. Una nube di inquinanti, generata dal consumo di combustibili fossili, fotografata sulla Cina orientale dal satellite MODIS, della NASA. Nubi come questa, composte soprattutto da aerosol di anidride solforosa e fuliggine, modificano il clima del Pacifico.

A seguito dei problemi di piogge acide, Europa e Stati Uniti stanno ripulendo da anni le loro ciminiere. Ma nella fiorente Asia le emissioni sono totalmente fuori controllo. La Cina, per esempio, inaugura una nuova centrale a carbone ogni settimana, fonte da cui trae circa il 70 per cento del suo fabbisogno energetico. Nel 2006 ha bruciato circa 2,4 miliardi di tonnellate di carbone che, oltre a CO_2 e altri gas serra, rilascia aerosol di anidride solforosa e fuliggine. Emissioni cresciute del 35 per cento in dieci anni, e che salgono nell'atmosfera spostandosi verso il Pacifico. Questi aerosol interferiscono con il clima in vari modi, in particolare rallentano la formazione delle gocce di pioggia, caricando maggiormente di acqua le nuvole.

Il gruppo di ricerca guidato da Renyi Zhang, della Texas A&M University, ha analizzato i dati raccolti dal 1984 al 2005 dell'International Satellite Cloud Climatology Project. E ha scoperto che negli ultimi dieci anni le nubi temporalesche sopra l'Oceano Pacifico sono aumentate del 20-50 per cento rispetto al decennio precedente, mentre il numero degli altri tipi di nubi è rimasto stabile. Questo fenomeno non è correlato alle variazioni di temperatura degli oceani, né con le oscillazioni di el Niño. E non si osserva nell'Oceano Atlantico, dove l'inquinamento asiatico non arriva. Quindi, concludono gli autori, la responsabilità deve essere del consumo cinese e indiano di carbone. Scenario confermato da una simulazione al computer secondo cui solo gli aerosol industriali potrebbero causare questo addensamento delle nubi.

Il problema non è solo l'aumento dei temporali. «L'intensificarsi delle tempeste nel Pacifico ha profonde conseguenze sul clima. Può alterare l'albedo delle nuvole, e con essa i livelli di irraggiamento solare su una vasta regione. E può modificare la circolazione generale», spiegano gli autori dell'articolo, che temono anche ripercussioni negative al Polo Nord. Nelle nubi temporalesche, infatti, ci sono correnti verticali che facilitano l'ascesa degli aerosol nella troposfera. Da qui sono rapidamente trasportati verso l'Artico, dove possono contribuire al già drammatico riscaldamento della regione.

Daniele Fanelli

La sfida per la Terra

Ancora una volta Sir Richard Branson sa come far parlare di sé. Il presidente del Gruppo Virgin, dopo aver investito in svariati settori (e ora anche nelle cellule staminali, con la Virgin Health Bank), punta al titolo di mecenate del XXI secolo. Branson ha lanciato una competizione per la salvaguardia della Terra: la Virgin Earth Challenge. La competizione mira a trovare un sistema che sia in grado di sottrarre l'anidride carbonica di origine antropica dall'atmosfera senza provocare danni collaterali.

L'impresa non è facile, ma il premio in palio potrebbe mettere in moto molti cervelli. All'ingegnoso vincitore infatti andranno in tasca 25 milioni di dollari, e come sostiene Branson: «La storia dimostra che i premi incoraggiano lo sviluppo di tecnologie per il bene dell'umanità».

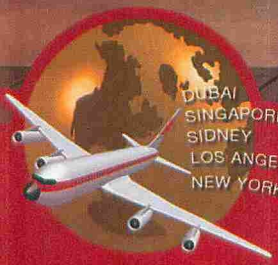
La valutazione delle tecnologie che saranno presentate è in mano a una giuria d'eccellenza, in cui figura anche Al Gore, ex vice presidente americano, impegnato nella tutela ambientale (con il documentario tratto dal suo libro sul riscaldamento globale *Una scomoda verità*, si è guadagnato persino un Oscar). Oltre ad Al Gore, della giuria fanno parte anche James Hansen, scienziato della NASA e uno dei primi a parlare di effetto serra, Crispin Tickell, autorevole ambientalista inglese, Tim Flannery, zoologo australiano che ama sottolineare che «ha scoperto più specie animali di Charles Darwin», e James Lovelock, inventore della teoria di Gaia, che dichiara: «Per salvare la Terra abbiamo bisogno di un miracolo».

Angela Simone

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

CI SONO FOTO CHE TI PORTANO IN GIRO PER IL MONDO.

bevi Baileys® responsabilmente.



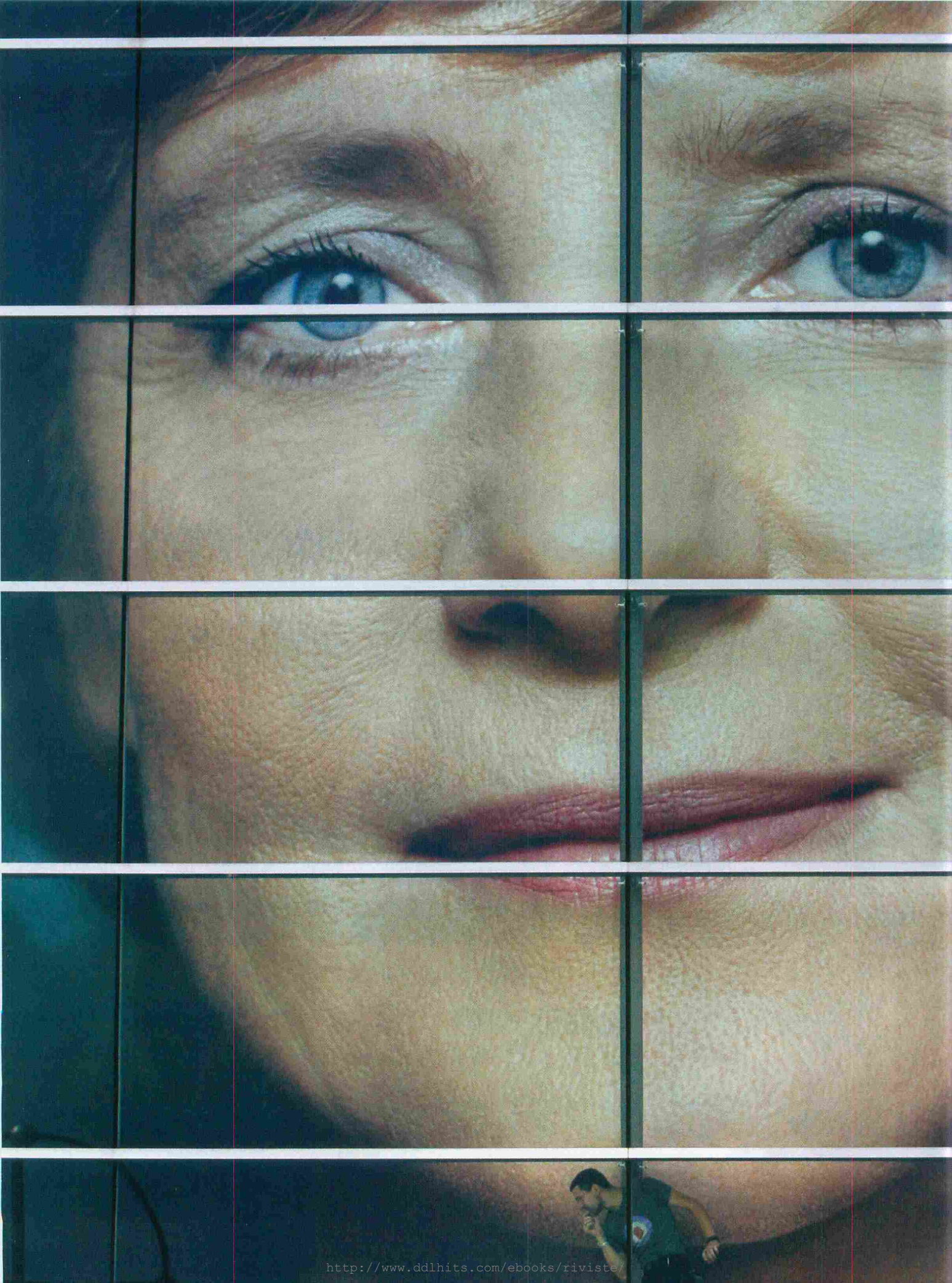
SCATTA&VINCI CON I 3 GUSTI DI BAILEYS.

Scatta una foto con Baileys e i tuoi amici, mettila on-line e fatti votare da più persone possibili. Più ti votano più possibilità hai di vincere UN VIAGGIO INTORNO AL MONDO PER 5 PERSONE. In palio anche 100 photoframe e 200 stampanti con vincita immediata: guarda sotto il tappo! Scopri il regolamento e tutti i premi su www.scattaevinciconbaileys.it

BAILEYS
Serve Chilled

CONCORSO valido dal 15.2.2007 al 30.11.2007 - MONTEPREMI: € 94.345 (IVA esclusa e inclusa e non scorporabile).

Powered by www.ebooks.ziviser.it



http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

AFP/Grazia Neri

Il Cancelliere scienziato

Angela Merkel, una ricercatrice diventata leader del G8, porta la scienza nell'agenda della politica europea e mondiale

di Michael Dumiak

Un po' di tempo fa, il cancelliere tedesco Angela Merkel – chimico teorico, capo del governo della Germania e attuale presidente del Consiglio d'Europa e del G8 – si è espressa criticamente nei confronti della politica ambientale degli Stati Uniti. «Per impedire il riscaldamento globale, le nazioni con i più alti livelli di emissioni dei gas responsabili dei cambiamenti climatici dovranno fare la loro parte», ha detto. «Ecco perché durante la nostra presidenza del G8 faremo sì che la questione torni a occupare un posto di primo piano». Un'affermazione coraggiosa, considerando la nota riluttanza della delegazione degli Stati Uniti verso qualsiasi impegno di tipo ambientale quando a presiedere il G8 era Tony Blair, due anni fa. Ma la Merkel, il cui stile diplomatico diretto è stato definito «metodo Merkel», sa come sfruttare il potenziale delle situazioni difficili. Il suo successo politico è frutto di una mente analitica e di un'encomiabile tenacia. La Merkel, per molti versi, è ancora una scienziata. E la Germania, la quinta economia del mondo, è il suo laboratorio.

Una ragazza perfetta

Angela Merkel è nata nel 1954 ad Amburgo, ma aveva appena tre settimane quando il padre, Horst Kasner (Merkel è il cognome del suo primo marito), diventò pastore di un centro a circa 80 chilometri da Berlino, nell'allora Germania Est. La Merkel frequentava la chiesa, a dispetto dei rischi che questo comportava nella società comunista, dove praticare apertamente una religione poteva rendere quasi impossibile entrare nelle università statali, trovare un buon lavoro o persino affittare un appartamento.

Come capo di una famiglia ai margini di una società discriminatrice, Kasner insegnò ai suoi figli l'importanza di essere meglio dei migliori dei loro compagni. E la gio-

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

vane Angela Merkel era perfetta ai limiti del caricaturale. I suoi ex compagni di classe la descrivono come la ragazza che studiava anche alla fermata dell'autobus, quella che nessuno aveva mai baciato.

Il padre discuteva spesso di politica con lei, e la ragazza si iscrisse alla Freie Deutsche Jugend, la versione comunista dei boy scout, di cui diventò segretario locale. In seguito, le sue qualità di studentessa e l'acume politico di cui diede prova già da giovanissima la aiutarono a entrare prima all'Università di Lipsia e poi all'Accademia delle scienze di Berlino, dove si specializzò in chimica fisica. Per tutti gli anni ottanta si dedicò alla chimica quantistica, in particolare al calcolo della costante di velocità e al decadimento di molecole di idrocarburi, pubblicando articoli su «Zeitschrift für Physikalische Chemie», una rivista scientifica della Germania Est.

Alla fine degli anni ottanta, vedendo la possibilità di continuare a esercitare le proprie naturali capacità politiche, Angela Merkel si iscrisse a un partito protoconservatore della Germania Est in via di dissoluzione, e dopo la caduta del Muro di Berlino entrò nell'Unione cristiano-democratica (CDU). Nel 1990 fu eletta per la prima volta in Parlamento, ed entrò a far parte del governo dell'allora cancelliere Helmut Kohl con l'incarico di Ministro per la condizione femminile e la gioventù. Nel 1994 Kohl la nominò ministro dell'ambiente, un ruolo di maggiore visibilità e potere. Nel 2000 la Merkel era ormai diventata leader della CDU, e quando Edmund Stoiber perse le elezioni contro il partito socialdemocratico (SPD) di Gerard Schröeder, nel 2002, ottenne la candidatura a sfidarlo per la CDU nelle successive elezioni del 2005.

In quella tornata elettorale, come è noto, nessuno dei due partiti ha ottenuto la maggioranza; CDU e SPD hanno quindi negoziato l'accordo di governo noto come *Grosse Koalition*, «la grande coalizione». E la Merkel è diventata la prima donna, e il primo scienziato, a essere nominata Cancelliere.

Scienza e politica

Durante tutta la sua carriera politica, la pazienza e la capacità di concentrazione di Angela Merkel sono risultate evidenti; non è chiaro se siano state queste caratteristiche ad avvicinarla alla scienza, o se le abbia sviluppate grazie agli studi scientifici. «È intelligente, aperta, e molto attenta», racconta Hubert Markl, che l'ha incontrata diverse volte quando era direttore della Max-Planck-Gesellschaft. «È il tipo di persona che vuole capire esattamente che cosa sta succedendo, in che modo un intervento potrà influenzare la nostra società e la nostra economia nel futuro, quali saranno i risultati finali».

La Merkel si è affermata come un'appassionata sostenitrice della scienza, sia nella forma sia nella sostanza. In un editoriale scritto per «Science» nel luglio 2006 ha ribadito la convinzione che un modo di ragionare analitico e paziente possa cambiare la società; nell'articolo, ha sollecitato la creazione di un fondo di sei miliardi di euro per «progetti pilota», e un aumento dei fondi per la ricerca e lo sviluppo fino al tre per cento dei 2300 miliardi di euro del PIL tedesco entro il 2010.

La politica della Merkel ha avuto un forte impatto anche sulla comunità scientifica tedesca. Ulf von Rauchhaupt, responsabile delle pagine scientifiche del «Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung», ha detto: «Sono tutti impressionati dal fatto che ai vertici della politica sia finalmente arrivato un vero scienziato, una persona che ha fatto davvero lavoro scientifico».

Gli investimenti voluti dalla Merkel nelle infrastrutture scientifiche tedesche ed europee arrivano in un momento di prosperità per la comunità scientifica tedesca. Al Dipartimento di antropologia evolutiva del Max-Planck-Institut di Lipsia, Svante Pääbo sta lavorando sul sequenziamento genoma dei Neanderthal. Günter Fuhr, del Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik, sta sviluppando una tecnologia per la creazione su scala industriale di criobanche destinate alla ricerca sulle staminali e sui vaccini per l'HIV. Il gruppo di Timo Ulrich al Koch-Mentschnikov Forum di Berlino – una collaborazione russo-tedesca inaugurata a ottobre 2006 dalla Merkel e da Putin – sta lavorando sui vaccini contro la tubercolosi.

Grazie agli investimenti del governo Merkel, la Germania, che ospita diversi centri di ricerca in cui lavorano migliaia di scienziati, sta registrando un afflusso di capitali di rischio. Rainer Strohmenger, della Welling Partners, società di *venture capital* di Monaco di Baviera, ha dichiarato che i dirigenti delle maggiori industrie farmaceutiche vengono in Germania a spiegare le loro esigenze di produzione.

Quando la Merkel partecipa a eventi di carattere scientifico, coglie sempre l'opportunità per ribadire la sua fiducia nell'impresa scientifica. Incontrando l'astronauta tedesco Thomas Reiter all'Agenzia spaziale europea, dopo averlo interrogato sugli esperimenti di fisica che aveva effettuato a bordo della Stazione spaziale internazionale l'estate scorsa, ha dichiarato: «Lo spazio, oltre a esercitare un grande fascino, ha anche un grande valore aggiunto, grazie agli esperimenti scientifici,

Una **sostenitrice della scienza** sia nella forma sia nella sostanza

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

EADS Space/ESA

BREMA, 2 MAGGIO 2006. Foto di gruppo alla cerimonia per la consegna del laboratorio europeo Columbus destinato alla Stazione spaziale internazionale. Da sinistra, Angela Merkel, Sigmar Wittig, presidente del Consiglio dell'ESA, Jean-Jacques Dordain, direttore generale dell'ESA, e l'astronauta tedesco Thomas Reiter.

in particolare per la ricerca nei campi della salute e della medicina».

Dal punto di vista politico, la Merkel ha dimostrato di essere un'individualista convinta, che si cura pochissimo delle convenzioni o degli scandali. Pur avendo ricevuto un'educazione protestante, non esibisce il fervore religioso che ha caratterizzato altri leader occidentali. Quando il suo mentore – l'ex cancelliere Helmut Kohl, che aveva l'abitudine di riferirsi a lei chiamandola «la ragazza» – fu coinvolto in uno scandalo elettorale, la Merkel prese *subito pubblicamente* le distanze, nonostante Kohl l'avesse nominata ministro dopo soli quattro anni di carriera politica. Una mossa coraggiosa e indipendente, che l'ha aiutata ad acquistare potere. «Gli scienziati ragionano in modo diverso dagli avvocati», dice Timo Ulrich. «A volte mi accorgo che la Merkel pensa come farebbe un ricercatore».

I problemi del presente

L'agenda scientifica della Merkel si colloca all'interno di un quadro politico difficile. I problemi della spesa per la sanità, la riforma pensionistica, l'istruzione e l'integrazione degli immigrati sono le preoccupazioni principali dei tedeschi. Il fondamentalismo islamico, in particolare, è diventato un tema di punta e oggetto di cronaca ricorrente. I recenti delitti d'onore che hanno coinvolto figlie e sorelle «occidentalizzate» di immigrati hanno scioccato la nazione. E la mancanza di prospettive tra i poveri dell'ex Germania Est sta portando voti all'estrema destra. Pur coltivando una cultura a favore della scienza e della ricerca, la Merkel deve creare posti di lavoro. E anche se crede che un rinnovamento della cultura scientifica tedesca possa contribuire a rinvigorire l'economia, il tempo del suo mandato scorre inesorabile.

Inoltre l'impronta scientifica della sua politica ha già subito qualche contestazione. Quando ha messo la questione del clima come priorità assoluta per la prossima riunione del G8 in Germania, la sua tesi che la lotta al riscaldamento globale richieda nuovi investimenti nel nucleare (la sua fede nella sicurezza della scienza qui è cruciale) ha suscitato le ire dei Verdi, che oltre a essere una forza politica importante fanno parte della maggioranza di governo all'interno dell'SPD. Gli ambientalisti sostengono che la Germania potrebbe essere il paese leader nell'energia solare ed eolica, mentre le fonti alternative sono sfruttate solo per una frazione minima del fabbisogno energetico nazionale.

Le scommesse future

Il 2007 è l'anno della Merkel. La rivista «Forbes» l'ha già nominata «la donna più potente del mondo». E se i suoi progetti per lo sviluppo scientifico e le politiche climatiche dovessero avere successo, i prossimi mesi la vedrebbero alla guida un cambiamento culturale ed economico dell'Europa. Ma è un momento difficile. Gli anni delle meraviglie dell'ingegneria, dell'industria, delle autostrade senza limiti di velocità sono un miraggio.

Uno degli obiettivi principali della Merkel in qualità di presidente di turno del Consiglio d'Europa è consolidare il Consiglio europeo della ricerca (ERC). Concepito nel 2002, e finanziato da tutti i paesi europei, l'ERC gode di un vasto sostegno da parte della comunità scientifica e dei governi nel perseguire la ricerca di frontiera. L'ERC è diventato operativo quest'anno, e ha nominato come suo primo segretario generale il genetista Ernst-Ludwig Winnacker, già a capo del Deutsche Forschungsgemeinschaft, la fondazione tedesca per la ricerca. L'affermazione dell'ERC come forza motrice dell'innovazione costituirebbe un passaggio chiave nella visione politica della Merkel. La Germania, con una spesa per la ricerca pari al 3 per cento del PIL entro il 2010, potrebbe costituirne la dinamo, e l'economia europea potrebbe diventare la più competitiva al mondo.

Ed è perfettamente logico che sia un politico con una mente da scienziato a portare la Germania, e l'Europa, più vicina a questo traguardo.

Questo articolo è tradotto da «Seed», dicembre 2006-gennaio 2007.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

LA MANO INVISIBILE dell'universo

L'energia oscura non accelera solo l'espansione del cosmo: governa anche la forma e la posizione delle galassie nello spazio

di Christopher J. Conselice

Perché c'è voluto tanto tempo? Solo nel 1998 gli astronomi hanno scoperto di aver trascurato quasi tre quarti del contenuto dell'universo, la cosiddetta «energia oscura». Si tratta di una forma sconosciuta di energia, che ci circonda in modo quasi impercettibile ma che ha in pugno il destino del cosmo. Anche i pochi che ne avevano previsto l'esistenza ammettono che l'individuazione dell'energia oscura è una delle scoperte più rivoluzionarie della cosmologia del XX secolo. Non solo costituirebbe la maggior parte dell'universo, ma, se le premesse saranno confermate, forse richiederà addirittura lo sviluppo di nuove teorie della fisica.

Gli scienziati hanno appena iniziato a capire che cos'è questa forma di energia e quali siano le sue implicazioni, ma già si è arrivati a una prima, importante constatazione: anche se l'energia oscura manifesta la propria esistenza attraverso gli effetti che esercita sull'universo nel suo insieme, potrebbe essere determinante anche nell'evoluzione degli oggetti che lo popolano: stelle, galassie, ammassi di galassie.

Ironicamente, è proprio la pervasività dell'energia oscura che ne ha reso difficile la scoperta. Al contrario della materia, non tende a concentrarsi in aggregati ma ha una distribuzione uniforme nello spazio. In ogni punto del cosmo ha la stessa densità: circa 10^{-26} chilogrammi per metro cubo, equivalente a pochi atomi di idrogeno. Tutta l'energia oscura del sistema solare equivale alla massa di un piccolo asteroide: è quindi un fattore assolutamente insignificante nella danza dei pianeti. I suoi effetti emergono solo quando sono considerati su grandi distanze e lunghi periodi di tempo.

Fin dai tempi dell'astronomo statunitense Edwin Hubble, gli scienziati sanno che tutte le galassie, tranne le più vicine, si stanno allontanando rapidamente da noi. La loro velocità è proporzionale alla distanza: quanto più una galassia è lontana, tanto più rapido è il suo allontanamento. Un simile andamento implica che le galassie non si muovono nel senso convenzionale del termine, ma sono trasportate dall'espansione della struttura stessa dello spazio. Per decenni gli astronomi hanno tentato di rispondere alla domanda più ovvia: come cambia nel tempo la velocità di espansione cosmica? Secondo logica dovrebbe diminuire, perché l'attrazione gravitazionale reciproca delle galassie, diretta verso l'interno, dovrebbe opporsi all'espansione.

I primi dati osservativi sulla variazione della velocità di espansione sono stati forniti dallo studio delle supernove lontane, esplosioni di

Jean-Francois Podevin

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

stelle di grande massa che si possono usare come marcatori dell'espansione cosmica, esattamente come l'osservazione dei rametti trasportati dalla corrente permette di misurare la velocità di un corso d'acqua. I risultati hanno dimostrato che in passato l'espansione era più lenta di quanto sia oggi: il processo sta dunque accelerando. Più specificamente, dopo una prima fase di rallentamento è andato incontro a una transizione e ha iniziato ad accelerare. Questo risultato è stato verificato da studi indipendenti sulla radiazione cosmica di fondo compiuti, tra l'altro, dal Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP).

Una possibile conclusione è che le leggi della gravità su scala supergalattica sono diverse da quelle che si applicano a distanze inferiori, e quindi la gravità esercitata dalle galassie non si oppone all'espansione. Ma l'ipotesi più accreditata è che le leggi della gravità sono universali, e che una forma di energia finora sconosciuta contrasta e supera l'attrazione tra le galassie, costringendole ad allontanarsi sempre più velocemente. Anche se l'energia oscura ha effetti trascurabili nella Via Lattea, nel complesso è la forza più potente in azione nel cosmo.

L'energia oscura potrebbe essere il collegamento fondamentale tra diversi aspetti, ritenuti indipendenti, della formazione delle galassie

Scultore cosmico

Lo studio di questo nuovo fenomeno ha permesso di scoprire che, oltre a determinare l'espansione dell'universo nel suo complesso, l'energia oscura ha effetti a lungo termine anche su scale più piccole. Se si immagina, a partire dall'intero universo osservabile, di passare a ingrandimenti via via maggiori, per prima cosa si nota che su scala cosmica la materia è distribuita come in una ragnatela: una filigrana di filamenti, della lunghezza di decine di milioni di anni luce, inframmezzati da vuoti di dimensione simile. Le simulazioni mostrano che per creare una struttura del genere sono necessarie sia la materia sia l'energia oscura.

Ma questa scoperta non è particolarmente sorprendente. I filamenti e i vuoti non sono corpi coerenti, come per esempio un pianeta: non sono diventati indipendenti dall'espansione cosmica stabilendo un proprio equilibrio interno di forze. Sono invece strutture modellate dalla competizione tra l'espansione (ed eventuali fenomeni che la influenzano) e la loro stessa gravità. Nel nostro universo, nessuno dei due contendenti di questo tiro alla fune ha una chiara prevalenza sull'altro. Se l'energia oscura fosse più intensa, l'espansione avrebbe avuto la meglio e la materia sarebbe dispersa, anziché concentrata in filamenti; se invece fosse più debole, la materia sarebbe ancora più concentrata di quanto si osservi (*si veda il box a p. 46*).

La situazione diventa più complicata se si passa a un ingrandimento maggiore e si raggiunge la scala delle galassie e degli ammassi di galassie. Questi oggetti cosmici, che includono la Via Lattea, non si espandono nel tempo. La loro dimensione è controllata dall'equilibrio tra la gravità e il momento angolare delle stelle, del gas e dell'altra materia che li compone; il loro accrescimento avviene solo per aggiunta di nuova materia proveniente dallo spazio intergalattico o per fusione con un'altra galassia. Per loro, l'effetto dell'espansione cosmica è insignificante. Non è affatto immediato quindi concludere che l'energia oscura abbia avuto un ruolo nella formazione delle galassie. Lo stesso vale per gli ammassi di galassie, i più grandi corpi coerenti che esistano nell'universo: si tratta di aggregati di migliaia di galassie racchiuse in un'enorme nube di gas caldo e tenute insieme dalla gravità.

Eppure sembra proprio che l'energia oscura possa essere il collegamento fondamentale tra diversi aspetti della formazione di galassie e di ammassi. Aspetti che fino a poco tempo fa apparivano del tutto indipendenti. Il fatto è che in parte la genesi e l'evoluzione di questi sistemi sono determinate da fenomeni, come le interazioni e le fusioni di galassie, che a loro volta sarebbero fortemente influenzati dall'energia oscura.

Per capire l'effetto dell'energia oscura sulla formazione delle galassie, consideriamo come potrebbe svolgersi questo processo. Le teorie attuali ipotizzano l'esistenza di due tipi di materia. In primo luogo vi è la materia ordinaria, le cui particelle interagiscono l'una con l'altra e, se sono elettricamente cariche, con la radiazione elettromagnetica. Gli astronomi definiscono questa materia «barionica», riferendosi ai suoi principali costituenti, i barioni, una classe di particelle che comprende protoni e neutro-

In sintesi/*La forza ignota*

- L'energia oscura ha acquisito notorietà come ipotetica responsabile dell'accelerazione cosmica: si tratterebbe di un'entità non meglio identificata che esercita una sorta di forza antigravitazionale sull'universo nel suo complesso.
- Ma l'energia oscura provoca anche effetti secondari sulla materia. Ha contribuito a determinare la caratteristica distribuzione «a filigrana» della materia su grande scala. Su scala più piccola, sembra aver interrotto l'accrescimento degli ammassi di galassie circa sei miliardi di anni fa.
- Su scala ancora più piccola, l'energia oscura ha ridotto la frequenza delle interazioni e delle fusioni tra le galassie, processi che determinano la tipologia di questi oggetti celesti. Se l'energia oscura fosse stata più intensa o più debole di quanto è, probabilmente la velocità di formazione delle stelle nella Via Lattea sarebbe stata minore, e forse gli elementi pesanti che costituiscono il nostro pianeta non sarebbero mai stati sintetizzati.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

ni. E poi c'è la materia oscura (diversa dall'energia oscura), che costituisce l'85 per cento di tutta la materia; la sua proprietà più rilevante è quella di comprendere particelle che non interagiscono con la radiazione. Da un punto di vista gravitazionale, la materia oscura si comporta come quella ordinaria.

Secondo i modelli, la materia oscura iniziò a concentrarsi subito dopo il big bang, formando aggregati sferici che gli astronomi chiamano «aloni». Viceversa, le interazioni reciproche tra i barioni e quelle tra barioni e radiazione impedirono a questo tipo di particelle di aggregarsi, costringendole a rimanere in fase gassosa ad altissima temperatura. Solo quando questo gas si raffreddò, a causa dell'espansione dell'universo, i barioni iniziarono a formare aggregati. Le prime stelle e galassie si separarono dal gas raffreddato alcune centinaia di milioni di anni dopo il big bang; non comparvero però in posizioni casuali, ma al centro degli aloni di materia oscura che si erano già formati.

Dagli anni ottanta, diversi scienziati hanno simulato questo processo al computer, tra i quali Simon D.M. White del Max-Planck-Institut für Astrophysik di Garching, e da Carlos S. Frenk dell'Università di Durham. Essi hanno dimostrato che la maggior parte delle strutture cosmiche più antiche era costituita da aloni di materia oscura di piccole dimensioni e di massa limitata. Poiché l'universo primordiale era denso, questi aloni di piccola massa (e le galassie al loro interno) si sono fusi, formando sistemi più massicci. In questo scenario la formazione delle galassie fu un processo che iniziò dal basso, come la costruzione di una casa con i mattoni del Lego. I miei colleghi e io abbiamo cercato di verificare questi modelli osservando le galassie lontane e ricostruendo le loro interazioni nel tempo.

Il declino della formazione di galassie

Studi più dettagliati indicano che il processo di collisione e fusione distorce la forma delle galassie. Le più antiche galassie che siamo in grado di osservare esistevano già quando l'universo aveva circa un miliardo di anni, e molte sembrano sul punto di unirsi l'una con l'altra. Col passare del tempo, tuttavia, la fusione di galassie massicce divenne meno frequente. Tra 2 e 6 miliardi di anni dopo il big bang – ovvero durante la prima metà della storia dell'universo – la frazione di galassie massicce interagenti scese dal 50 per cento circa fino quasi a zero. Da allora, la distribuzione delle forme delle galassie è immutata, a riprova del fatto che collisioni e fusioni sono diventate relativamente rare.

Il 98 per cento delle galassie massicce nell'universo attuale ha una forma ellittica o a spirale, forme che sarebbero distorte in un processo di fusione. Queste galassie sono stabili, e vi si trovano soprattutto stelle vecchie: si può concludere che si sono formate precocemente e che da molto tempo mantengono la loro configurazione regolare. Esistono ancora alcune galassie che si stanno fondendo tra loro, ma in genere hanno piccola massa.

La fine del processo di fusione non è l'unico segnale di declino nell'attività dell'universo a partire dalla metà della sua età attuale. Da quel momento anche la formazione stellare ha cominciato a segnare il passo. La maggior parte delle stelle di oggi sono nate nella prima metà della storia dell'universo, come è stato dimostrato negli anni novanta da diversi gruppi di ricerca, tra cui quelli diretti da Simon J. Lilly, allora all'Università di Toronto,

La supernova 1994D nella galassia NGC 4526

NASA, ESA, The Hubble Key Project Team e The High-Z Supernova Search Team

LE PROVE DELL'ENERGIA OSCURA

LE ESPLOSIONI DI SUPERNOVA
In un universo in espansione, le galassie si allontanano tra loro a una velocità che dipende dalla distanza reciproca. Le supernove permettono di misurare questo effetto, dato che lo spostamento verso il rosso del loro spettro rivela la velocità della galassia ospite e la loro luminosità è direttamente correlata alla distanza. Il risultato è che miliardi di anni fa le galassie avevano un moto più lento di quanto si otterrebbe estrapolando semplicemente la velocità di espansione attuale. Quindi la velocità di espansione è aumentata nel tempo: un effetto attribuibile all'energia oscura.

LA RADIAZIONE COSMICA DI FONDO A MICROONDE
Nelle immagini della radiazione di fondo si individuano aree con dimensione apparente che rispecchia la geometria complessiva dello spazio, e quindi la densità dell'universo con valore troppo elevato per essere giustificato dalla quantità totale di materia. La differenza deve essere annullata da una componente mancante come l'energia oscura. La radiazione di fondo è stata alterata dai campi gravitazionali delle strutture cosmiche, e l'entità di questo effetto dipende dalla variazione nel tempo della velocità di espansione; il valore misurato è in accordo con il contributo teorico dell'energia oscura.

LA DISTRIBUZIONE DELLE GALASSIE
Le galassie non sono disperse a caso nel cielo, ma sono organizzate in configurazioni che corrispondono a zone precise nella radiazione cosmica di fondo. Dalla distribuzione si può risalire alla massa totale dell'universo e verificare che si deve introdurre la componente aggiuntiva dell'energia oscura.

LE LENTI GRAVITAZIONALI
Una massa opera come una lente perché la sua gravità curva la luce. Una lente simile può generare immagini multiple se la sorgente luminosa si trova dietro di lei: un allineamento che è tanto più probabile quanto più è grande l'universo. Ma, a sua volta, la dimensione del cosmo dipende dalla quantità di energia oscura. Lo studio di questo fenomeno ha indicato come gli aggregati di materia si siano accresciuti nel tempo e ha rivelato la «firma» dell'energia oscura.

GLI AMMASSI DI GALASSIE
Le osservazioni nei raggi X permettono di ricostruire come si sia evoluta la massa degli ammassi di galassie. Per spiegare quando e come si siano formate queste strutture è necessario ipotizzare l'esistenza dell'energia oscura.

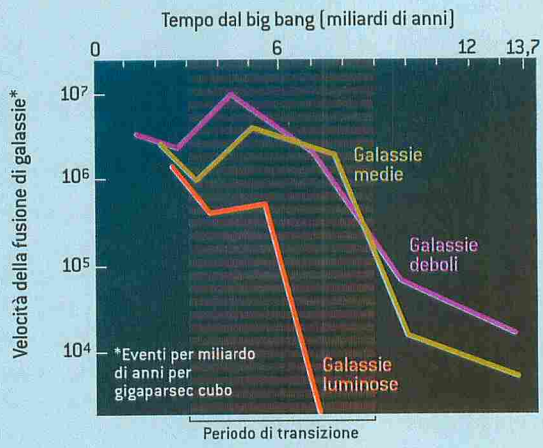
http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

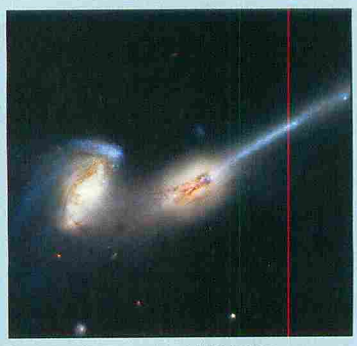
L'energia oscura prende il potere

La formazione delle strutture cosmiche è iniziata subito dopo il big bang, ma si è esaurita presto. All'inizio le galassie si fondevano tra loro, modificando la propria forma e generando stelle; ma questa attività ha iniziato a declinare quando l'energia oscura ha acquisito una forza confrontabile con quella della materia (*area marrone nei grafici*). È stata solo una coincidenza?

FINE DELLA FUSIONE DI GALASSIE

Le galassie più luminose hanno smesso di collidere e di unirsi tra loro quando il cosmo aveva un'età di circa 6 miliardi di anni. Il processo di fusione è ancora possibile, ma assai poco probabile, per le galassie meno brillanti.

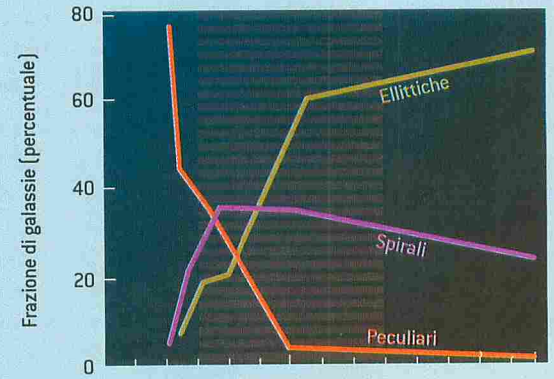




Le galassie interagenti NGC 4676

REGOLARIZZAZIONE DELLA FORMA DELLE GALASSIE

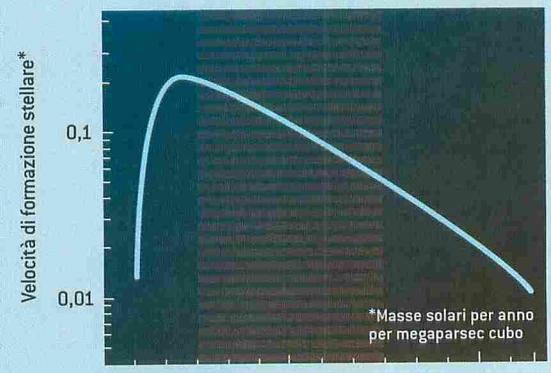
Tra le galassie più antiche predominavano forme peculiari, indizio del fatto che molte erano in fase di fusione. Quando le interazioni sono diventate meno frequenti, hanno iniziato a prevalere le forme ellittiche e a spirale.



Il gruppo di galassie HCG 87

DECLINO DELLA NASCITA DI NUOVE STELLE

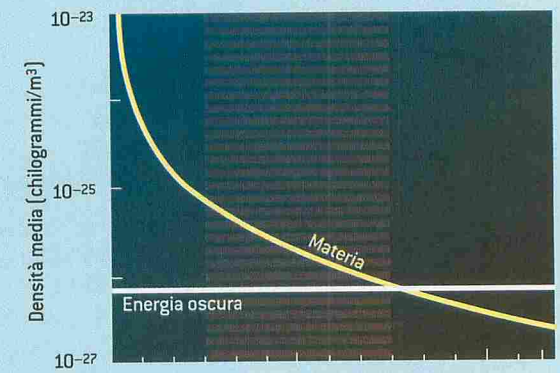
L'universo primordiale era una sorta di calderone di stelle in formazione, ma ben presto il tasso di formazione stellare ha raggiunto il massimo per poi diminuire. Oggi la velocità di formazione delle stelle è la più bassa di sempre.

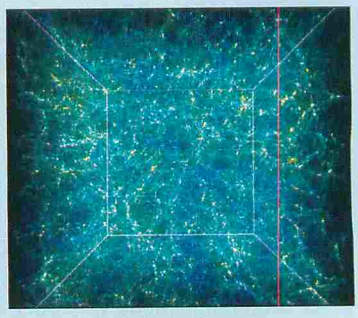


Nuove stelle nell'ammasso del Trapezio

L'ENERGIA OSCURA ENTRA IN GIOCO

I fenomeni precedenti sono collegati a un fatto: con l'espansione dell'universo la materia si è rarefatta finché la sua densità è diventata simile a quella dell'energia oscura; in seguito l'espansione cosmica ha cominciato ad accelerare, e il rapido allontanamento delle galassie ha reso meno probabili le collisioni e la cattura del gas per la formazione di stelle.





Simulazione della distribuzione della materia

Lucy Reading-Ikkanda (*grafici*); Andrew Hopkins, Università di Sydney (*fonte grafico tasso di formazione stellare*); NASA/ACS Science & Engineering Team (*NGC 4676*); NASA/ESA/STScI/Hubble Heritage Team, Photo Researchers, Inc. (*HCG 87*); NASA/K.L. Luhman, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics & G. Schneider, E. Young, G. Rieke, A. Cotera, H. Chen, M. Rieke e R. Thompson, Steward Observatory, Università dell'Arizona (*ammasso del Trapezio*); immagine generata dal Visualization Institute dell'Università di Stoccarda, dati del Virgo Supercomputing Consortium della Max-Planck Gesellschaft di Garching e Institute for Computational Cosmology (*simulazione della distribuzione della materia*)

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

da Piero Madau, allora allo Space Telescope Science Institute, e Charles C. Steidel del California Institute of Technology.

Più di recente si è scoperto che la formazione di stelle nelle galassie massicce cessò in epoca piuttosto precoce. Nella seconda metà della storia dell'universo la velocità con cui sono nate nuove stelle ha continuato a essere significativa solo nei sistemi più leggeri. Questa transizione è anche chiamata «riduzione di scala delle galassie». La situazione è dunque paradossale. Secondo la teoria della formazione delle galassie, i sistemi più piccoli dovrebbero aggregarsi per primi e poi unirsi dando vita a strutture massicce. Ma la storia della formazione delle stelle va in senso opposto: in un primo momento la genesi stellare è attiva soprattutto nelle grandi galassie, e solo in seguito si attiva in quelle più piccole.

Un'altra stranezza è che il processo di accrescimento dei buchi neri supermassicci presenti nel centro delle galassie sembra aver subito un rallentamento considerevole nel corso del tempo. Questi oggetti alimentano i quasar e altri tipi di galassie attive, che sono rari nell'universo attuale; i buchi neri esistenti nella Via Lattea e in altre galassie sono quiescenti. È possibile che l'energia oscura sia la causa comune?

stante, o quasi. Alla fine, l'inesorabile spostamento dell'equilibrio tra le due componenti ha fatto sì che la velocità di espansione (che in precedenza stava diminuendo) cominciasse ad aumentare. Le strutture che includevano le galassie si sono allontanate l'una dall'altra, con il risultato di una graduale riduzione della frequenza delle fusioni, e allo stesso tempo è diminuita la quantità di gas intergalattico che poteva essere inglobato nelle galassie; privati del combustibile, i buchi neri sono diventati quiescenti.

Questa sequenza di eventi forse spiega la riduzione di scala della popolazione galattica. Gli aloni di materia oscura più massicci, così come le galassie nel loro interno, sono anche quelli più ammassati, perché si trovano nelle immediate vicinanze di altri aloni massicci, dunque è probabile che collidano più precocemente che i sistemi di massa inferiore. Quando ciò accade, le stelle appena nate all'interno di aloni massicci emettono radiazione e infine esplodono, riscaldando il gas e impedendogli di collassare e di dare origine a una nuova generazione di stelle. Un simile meccanismo provoca l'autoestinzione del processo di formazione stellare: gli astri che riscaldano il gas dal quale sono nati rendono impossibile la genesi di altre stelle. Anche il buco nero nel centro della galassia frena la formazione delle stelle. La fusione tra due

Nella seconda metà della sua esistenza l'universo ha conosciuto un declino. Le fusioni di galassie sono cessate e i buchi neri sono diventati quiescenti

L'inesorabile morsa dell'energia oscura

Alcuni astronomi hanno ipotizzato che i processi interni alle galassie, come la liberazione di energia da parte di buchi neri e supernove, hanno arrestato i processi di formazione delle galassie stesse e delle stelle. Ma l'energia oscura si è imposta come possibile causa a un livello ancora più fondamentale, e sarebbe il fattore unificante di fenomeni diversi. Un elemento cruciale è l'approssimativa coincidenza temporale tra la fine della formazione di galassie e di ammassi e l'inizio del dominio dell'energia oscura: entrambi si collocano circa a metà dell'età dell'universo.

L'ipotesi è che fino a quel momento la densità della materia era sufficiente a far sì che le forze gravitazionali tra le galassie prevalessero sugli effetti dell'energia oscura. Le galassie erano estremamente vicine, interagivano e spesso si univano. La collisione tra nubi di gas intergalattico generava nuove stelle, e i buchi neri crescevano fagocitando il gas. Con il passare del tempo lo spazio si è espanso, la materia è diventata più rarefatta e la sua gravità si è indebolita, mentre l'intensità dell'energia oscura è rimasta co-

L'AUTORE

CHRISTOPHER J. CONSELICE è astronomo all'Università di Nottingham. Il suo settore di ricerca è la formazione delle galassie. È responsabile di diversi programmi di osservazione nell'infrarosso e nel visibile condotti con telescopi sia con base a terra sia nello spazio.

galassie alimenta di gas il buco nero, e fa sì che esso dia origine a getti che riscaldano il gas nel sistema, impedendogli di raffreddarsi e formare nuove stelle.

A quanto sembra, nelle galassie massicce il processo di formazione stellare non può riprendere dopo che si è bloccato, probabilmente perché il gas disponibile si è esaurito oppure si è riscaldato troppo per raffreddarsi con rapidità sufficiente. Queste galassie massicce possono sempre fondersi tra loro, ma le stelle generate sono poche, a causa della scarsità di gas freddo. Ma mentre le galassie più grandi ristagnano, le altre continuano a interagire e a dare vita a nuove stelle. Ne consegue che le galassie massicce devono formarsi prima di quelle più piccole, come in effetti si osserva. Forse l'energia oscura ha modulato questo processo determinando il grado di ammassamento delle galassie e la frequenza degli episodi di fusione.

L'energia oscura potrebbe spiegare anche l'evoluzione degli ammassi di galassie. L'osservazione degli ammassi più antichi, che esistevano già quando l'universo aveva meno di metà dell'età attuale, mostra che queste strutture non hanno aumentato la propria massa in maniera significativa negli ultimi 6-8 miliardi di anni. Vale a dire, nella seconda metà della storia dell'universo la formazione di ammassi di galassie è stata molto limitata: un segnale diretto dell'influenza esercitata dall'energia oscura sulle interazioni galattiche a grande scala. Già a metà degli anni novanta si sapeva che gli ammassi di galassie sono cresciuti poco negli ultimi 8 miliardi di anni, e in genere si è

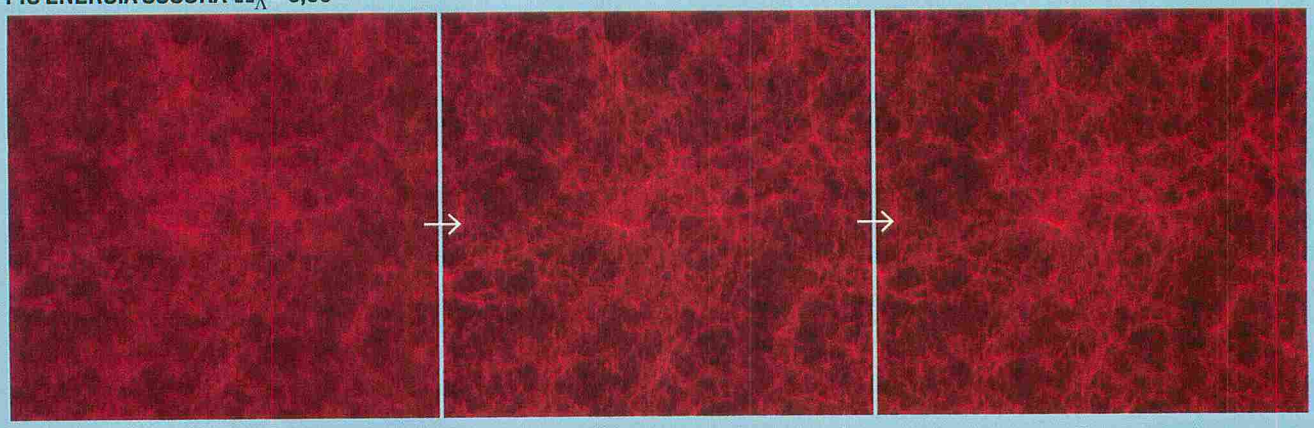
http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

Scenari ipotetici

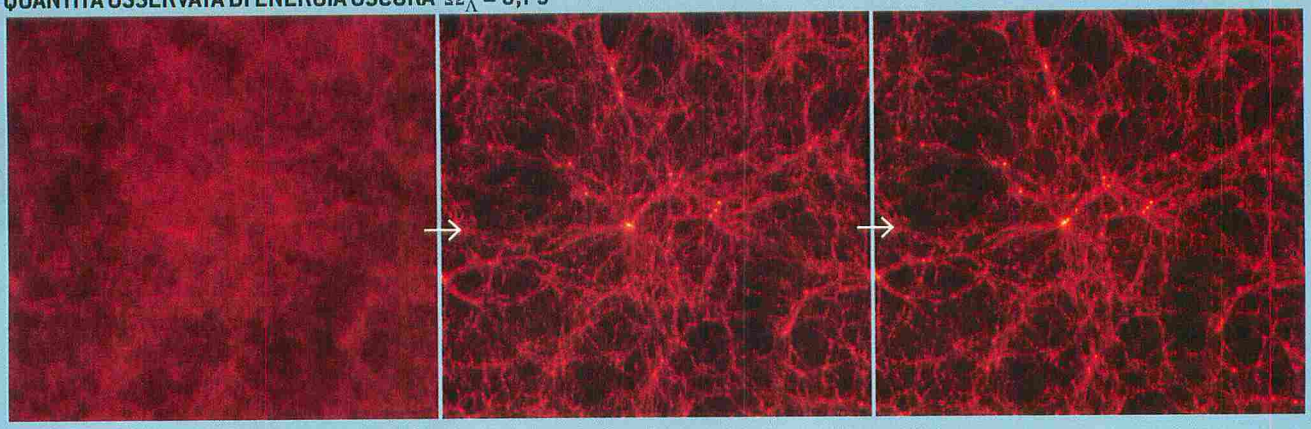
Se l'universo avesse più energia oscura sarebbe radicalmente diverso. L'accelerazione cosmica sarebbe iniziata prima, allontanando la materia a una velocità maggiore e impedendo quasi del tutto la formazione di grandi strutture. Se l'universo avesse meno energia oscura si sarebbe verificata la situazione opposta.

Ogni quadrato qui sotto mostra una regione con un lato pari a un miliardo di anni luce e che conta 27 milioni di particelle: ognuna simula una galassia. Nelle simulazioni la densità dell'energia oscura è costante nello spazio e nel tempo, e Ω_Λ è il parametro cosmologico che rappresenta la densità attuale dell'energia oscura.

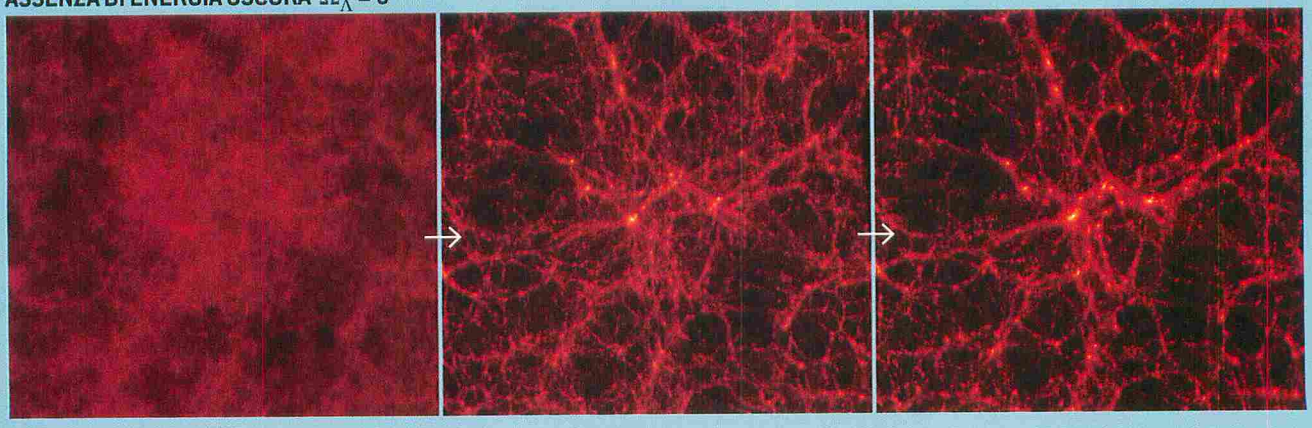
PIÙ ENERGIA OSCURA $\Omega_\Lambda = 0{,}99$



QUANTITÀ OSSERVATA DI ENERGIA OSCURA $\Omega_\Lambda = 0{,}75$



ASSENZA DI ENERGIA OSCURA $\Omega_\Lambda = 0$



UNIVERSO PRIMORDIALE: Quando l'universo ha dimensioni pari a un sesto della grandezza attuale, la materia è distribuita uniformemente in tutti e tre gli scenari. L'energia oscura non ha ancora iniziato a esercitare la propria influenza.

PERIODO DI TRANSIZIONE: Quando l'universo ha raggiunto il 75 per cento della dimensione attuale, gli effetti dell'energia oscura sono netti. Nello scenario in cui l'energia oscura ha un'intensità elevata (*in alto*) l'universo è amorfo, mentre negli altri due la formazione di strutture prosegue, generando una distribuzione a ragnatela.

OGGI: Nell'universo in cui la quantità di energia oscura è quella osservata (*al centro*) la formazione di strutture a grande scala ha ormai avuto termine, e la ragnatela è «congelata» nello spazio. Nello scenario in cui l'energia oscura è assente (*in basso*), la distribuzione a ragnatela continua a svilupparsi.

Liang Gao, Carlos Frenk e Adrian Jenkins, Institute for Computational Cosmology, Università di Durham

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

attribuito questo fatto a una densità della materia inferiore alle previsioni teoriche. La scoperta dell'energia oscura ha risolto la discrepanza tra osservazioni e teoria.

Un esempio di come l'energia oscura possa alterare la storia degli ammassi riguarda le galassie nelle nostre immediate vicinanze cosmiche, il cosiddetto Gruppo Locale. Fino a pochi anni fa gli astronomi ritenevano che la Via Lattea e la galassia di Andromeda (la più vicina a noi tra quelle di grandi dimensioni) prima o poi sarebbero cadute nel vicino ammasso della Vergine. Oggi, invece, sembra che questa sorte sarà evitata. L'energia oscura farà crescere la distanza tra il Gruppo Locale e l'ammasso della Vergine con una velocità maggiore del moto del Gruppo Locale nella stessa direzione.

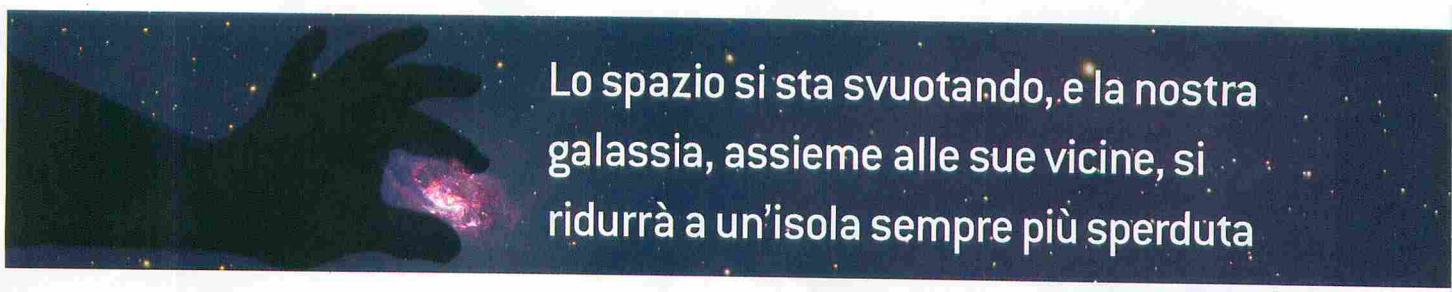
Limitando lo sviluppo degli ammassi, l'energia oscura controlla anche la configurazione delle galassie che li costituiscono. L'ambiente di un ammasso facilita la formazione di galassie «lenticolari», ellittiche giganti ed ellittiche nane. Quindi, ponendo una «barriera» all'ingresso di nuove galassie, l'energia oscura detta le abbondanze relative di questi tipi galattici.

Lo scenario descritto è affascinante. Ma è reale? Con il passare del tempo, sia le fusioni tra galassie sia l'attività dei buchi neri e la formazione di stelle mostrano un declino, ed è molto probabile che questi fenomeni siano in qualche modo correlati. Ma la sequenza degli eventi è ancora da ricostruire. Nei prossimi anni le osservazioni in corso con lo Hubble Space Telescope, il Chandra X-Ray Observatory e strumenti sensibili per l'osservazione e la spettroscopia con base a terra permetteranno di analizzare queste connessioni. Una possibile strategia consiste nel compilare un elenco esauriente di galassie attive lontane e nel determinare l'epoca in cui interagirono per l'ultima volta con un'altra galassia. L'analisi richiederà lo sviluppo di nuovi strumenti teorici, ma dovrebbe essere alla nostra portata nel giro di pochi anni.

Effetti a cascata

Un universo in espansione accelerata e dominato dall'energia oscura è una soluzione naturale per spiegare tutti i cambiamenti osservati nella popolazione delle galassie. Se l'energia oscura non esistesse, le galassie avrebbero interagito per un tempo assai più lungo, e oggi l'universo conterebbe un numero molto maggiore di galassie massicce con popolazioni stellari vecchie. Allo stesso modo, esisterebbero meno sistemi di piccola massa, le galassie a spirale come la Via Lattea sarebbero rare (la struttura a spirale non si conserva dopo un processo di fusione) e le strutture galattiche a grande scala si sarebbero legate in modo più stretto, quindi avrebbero interagito più di frequente e sarebbero cresciute per acquisizione di nuova materia.

Viceversa, se l'energia oscura fosse stata più intensa si sarebbero verificate meno fusioni tra galassie, e quindi osserveremmo meno galassie massicce e ammassi. Le galassie a spirale e quelle irregolari con piccola massa sarebbero più comuni e gli ammassi sarebbero molto più piccoli, se non inesistenti. Probabilmente avremmo avuto meno stelle, e una frazione maggiore della massa barionica dell'universo sarebbe ancora allo stato gassoso.



Anche se questi processi sembrano remoti, l'evoluzione delle galassie non è priva di conseguenze per la nostra esistenza. È nell'interno delle stelle che sono sintetizzati gli elementi chimici più pesanti del litio, necessari per la formazione di pianeti di tipo terrestre e per lo sviluppo della vita. Se la minore velocità di formazione stellare implicasse un'abbondanza limitata di elementi pesanti, i pianeti sarebbero rari, e forse la vita stessa non avrebbe avuto origine. Ecco perché l'energia oscura ha un effetto profondo su molti aspetti diversi e apparentemente non correlati dell'universo. E forse anche sulla storia della Terra.

L'opera dell'energia oscura non è finita. Il suo effetto sembra essere positivo per la vita: l'accelerazione impedirà il collasso dell'universo che gli astronomi paventavano fino a poco tempo fa. Ma l'esistenza dell'energia oscura comporta altri rischi. Come minimo, allontanerà così velocemente le galassie distanti da farle sparire dalla nostra vista per sempre. Lo spazio si sta svuotando, e la nostra galassia si ridurrà a un'isola sempre più sperduta. Gli ammassi, le galassie e le stelle che si muovono nello spazio intergalattico finiranno per avere una sfera di influenza gravitazionale con un raggio poco più grande della loro dimensione fisica.

Forse l'energia oscura sta evolvendo. Alcuni modelli prevedono che se diventerà ancora più intensa, disgregherà gli oggetti legati dalla gravità come ammassi e galassie. Un giorno anche la Terra sarà strappata al Sole e disintegrata, e anche gli atomi saranno distrutti. Quel giorno l'energia oscura, un tempo confinata nell'ombra della materia, avrà compiuto la sua vendetta. LS

PER APPROFONDIRE

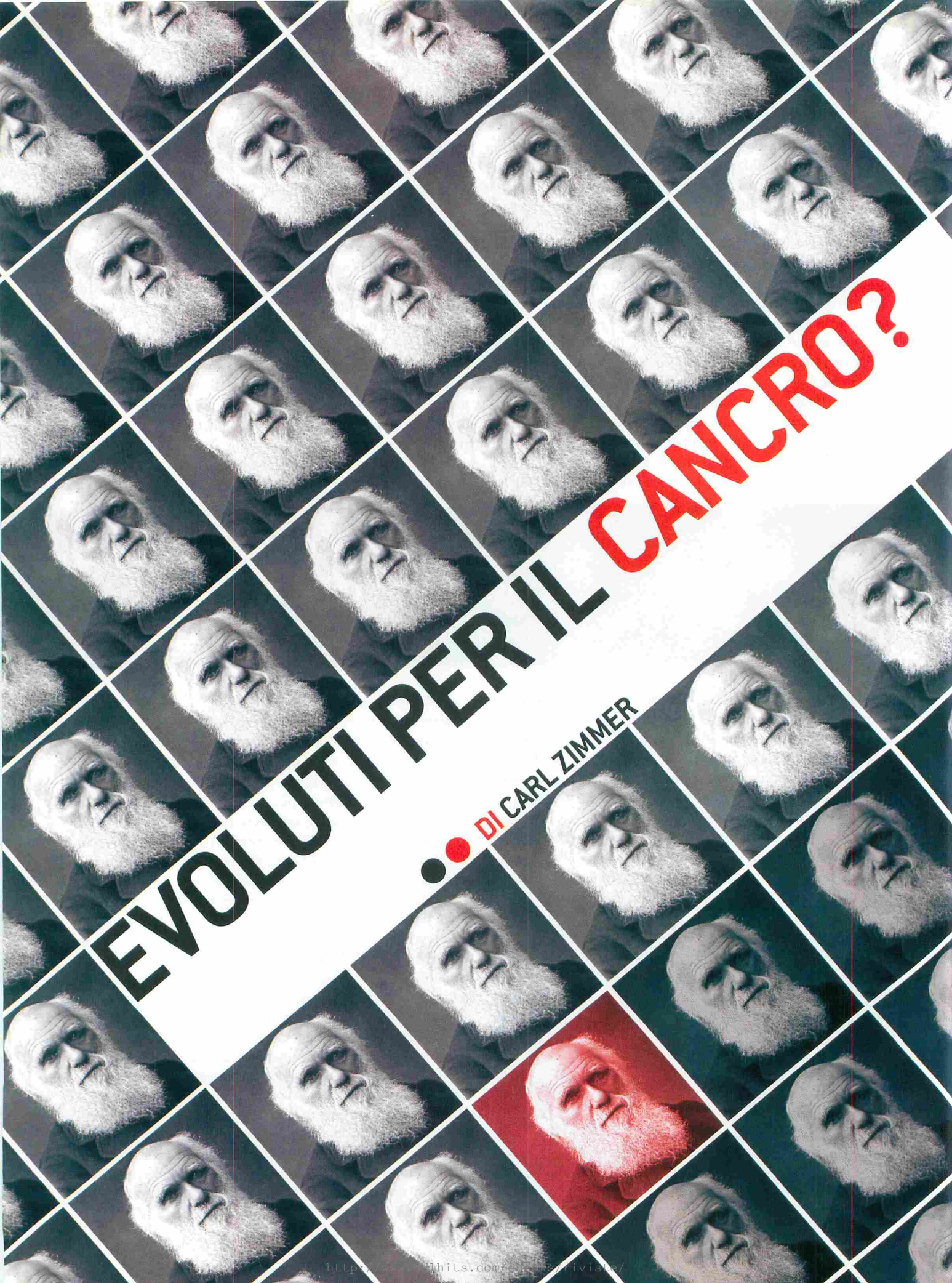
CONSELICE C.J., BERSHADY M.A., DICKINSON M. e PAPOVICH C., *A Direct Measurement of Major Galaxy Mergers at $z \leq 3$*, in «Astronomical Journal», Vol. 126, n. 3, pp. 1183-1207, settembre 2003.

CALDWELL R.R., *Dark Energy*, in «Physics World», Vol. 17, n. 5, pp. 37-42, maggio 2004. Disponibile all'indirizzo web: http://physicsweb.org/articles/world/17/5/7.

KIRSHNER R.P., *The Extravagant Universe: Exploding Stars, Dark Energy, and the Accelerating Cosmos*, Princeton University Press, 2004.

SILK J., *The Infinite Cosmos: Questions from the Frontiers of Cosmology*, Oxford University Press, 2006.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

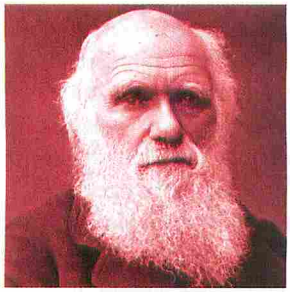


EVOLUTI PER IL CANCRO?

DI CARL ZIMMER

http://www.[illegible]hits.com/[illegible]/riviste/

La selezione naturale non ha eliminato il cancro dalla nostra specie, ma anzi sembra aver conservato alcuni geni che contribuiscono a renderlo più aggressivo



Charles Darwin, 1881

Richard Milner Archives

SELEZIONE NATURALE NON VUOL DIRE PERFEZIONE.

Gli esseri viventi hanno evoluto considerevoli adattamenti complessi, ma siamo ancora vulnerabili alle malattie. Una delle più gravi – e forse la più enigmatica – è il cancro. Un tumore canceroso si è adattato alla sopravvivenza in modo straordinario e grottesco. La sue cellule continuano a riprodursi anche quando le cellule «normali» si sarebbero già fermate da tempo: distruggono i tessuti circostanti per farsi spazio e ingannano l'organismo in modo da farsi fornire energia per crescere ancora di più. Ma i tumori non sono parassiti esterni che hanno acquisito sofisticate strategie per sferrare un attacco al nostro corpo. Sono fatti delle nostre stesse cellule, che ci si rivoltano contro. E non si può nemmeno dire che il cancro sia una rarità: in Italia in media un uomo su tre e una donna su quattro hanno la probabilità di avere una diagnosi di tumore nel corso della vita.

Tutto ciò fa sì che il cancro sia un rompicapo tetro ma affascinante per i biologi evoluzionisti. Se la selezione naturale è abbastanza potente da produrre adattamenti complessi come l'occhio o il sistema immunitario, perché non è stata capace di annientare il cancro? La risposta è insita nello stesso processo di selezione, dicono i ricercatori. La selezione naturale ha favorito lo sviluppo di alcuni meccanismi di difesa contro il cancro, ma non riesce a eliminarlo del tutto. Anzi, per ironia della sorte, può addirittura fornire involontariamente alle cellule cancerose gli strumenti per crescere.

Lo studio dell'evoluzione dei tumori è agli albori. Scienziati di diverse discipline si devono confrontare ancora molto riguardo ai meccanismi coinvolti, e c'è un gran lavoro da fare per la verifica delle ipotesi. Alcuni ricercatori medici restano scettici sulla possibilità che questo tipo di studio sia in grado di influire concretamente sul modo di combattere la malattia. I biologi evoluzionisti concordano sul fatto che non scopriranno una cura per il cancro, ma ritengono che il loro lavoro possa portare a scoperte che altrimenti rimarrebbero sconosciute. «Abbiamo sempre questa idea di fondo in mente, qualunque cosa facciamo», dice Judith Campisi del Lawrence Berkeley National Laboratory.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

Le origini del tumore

Il cancro nasce come una malattia legata alla pluricellularità. I nostri antenati unicellulari si riproducevano dividendosi in due. Dopo la comparsa degli animali, circa 700 milioni di anni fa, le cellule all'interno dell'organismo hanno continuato a riprodursi per divisione, usando il macchinario molecolare ereditato dai progenitori, ma hanno iniziato anche a specializzarsi per formare tessuti diversi, dopo la divisione.

I complessi corpi pluricellulari degli animali di oggi sono stati possibili grazie all'emergere di nuovi geni, capaci di controllare le modalità della divisione cellulare, per esempio bloccando la crescita cellulare una volta raggiunta la dimensione adulta dell'organo. L'esistenza di milioni di specie animali prova che lo sviluppo del corpo è stato un grande successo evolutivo. Ma avere un corpo comporta anche un grave rischio. Ogni volta che una cellula all'interno dell'organismo si riproduce c'è una minima possibilità che il suo DNA muti in modo cancerogeno. «Ogni volta che una cellula si divide si corre il rischio di sviluppare un cancro», dice Judith Campisi.

LA SELEZIONE NATURALE HA FAVORITO LO SVILUPPO DI MECCANISMI DI DIFESA CONTRO IL CANCRO, MA NON RIESCE A ELIMINARLO DEL TUTTO

Alcune rare mutazioni, per esempio, tolgono il freno alla crescita della cellula e quindi alla moltiplicazione senza controllo. Altre mutazioni possono aggravare il problema: permettono alle cellule impazzite di invadere i tessuti circostanti e di diffondersi all'interno dell'organismo. Oppure permettono di eludere il sistema immunitario o di attirare verso di sé i vasi sanguigni per avere ossigeno.

Il tumore, in altre parole, ricrea all'interno dei nostri corpi il processo evolutivo grazie al quale gli animali si adattano all'ambiente. A livello degli organismi, la selezione naturale agisce quando insorgono mutazioni genetiche che conferiscono un maggiore successo riproduttivo: le mutazioni sono «selezionate» nel senso che persistono e diventano più comuni nelle generazioni successive. Nel tumore sono le cellule a svolgere il ruolo degli organismi. I cambiamenti cancerogeni del DNA fanno in modo che le cellule tumorali abbiano una riproduzione più efficiente rispetto a quelle normali. E persino all'interno di un tumore le cellule più adattate possono soppiantare le altre meno competitive. «È come l'evoluzione darwiniana, ma avviene all'interno di un organo», spiega Natalia Komarova dell'Università della California a Irvine.

I limiti delle difese

Il nostro corpo è vulnerabile al cancro, ma ha molti strumenti per difendersi. Queste strategie probabilmente sono frutto di una selezione naturale, perché le mutazioni che hanno consentito ai nostri antenati di sopravvivere al cancro in età giovanile hanno conferito ai giovani del remoto passato un maggiore successo riproduttivo. Eppure ogni anno milioni di persone si ammalano di tumore, perciò è evidente che queste difese non hanno debellato la malattia. È proprio studiando l'evoluzione di questi meccanismi di difesa che i biologi cercano di capire perché siano così poco efficaci.

Le cosiddette «proteine oncosoppressore», *tumor suppressor protein*, sono uno degli strumenti di difesa più efficaci. Alcuni studi suggeriscono che queste proteine prevengono il cancro tenendo sotto controllo la riproduzione cellulare. Se la cellula inizia a moltiplicarsi in modo anomalo, le proteine oncosoppressore la inducono alla morte o alla senescenza, una sorta di pensionamento anticipato: la cellula sopravvive, ma non è più in grado di riprodursi. Le proteine oncosoppressore hanno un ruolo cruciale nella nostra sopravvivenza, ma di recente gli scienziati hanno scoperto qualcosa di strano: per alcuni aspetti, staremmo meglio se non ci fossero.

Norman Sharpless, dell'Università del North Carolina a Chapel Hill ha modificato il patrimonio genetico di alcuni topi per studiare gli effetti di una specifica proteina oncosoppressore, identificata con la sigla «p16» (o, più esattamente, «p16-Ink4a»). In particolare, Sharpless ha creato una linea di topi privi del gene funzionale per p16, che perciò erano incapaci di produrre la proteina. Nel settembre 2006 Sharpless e colleghi hanno pubblicato i risultati di tre studi: come ci si poteva aspettare, i topi geneticamente modificati erano più suscettibili al cancro, che insorgeva già al primo anno di età.

Ma la perdita del gene *p16* ha mostrato anche un rovescio della medaglia. Quando i topi invecchiavano le cellule si comportavano come se fossero state ancora giovani. In un esperimen-

In sintesi/*L'evoluzione del cancro*

- La selezione naturale ha una capacità limitata di prevenire il cancro. Le difese che offre tendono a ritardare la malattia fino a un'età avanzata, invece di eliminarla del tutto.
- Le forze evolutive sembrano aver favorito alcuni geni che sono in grado di contribuire allo sviluppo del cancro e di renderlo aggressivo.
- La comprensione della storia evolutiva del cancro, e di come si evolvono i singoli tumori nell'organismo, potrebbe offrire strategie terapeutiche nuove per affrontare la malattia.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

to, Sharpless e colleghi hanno confrontato topi adulti, alcuni con *p16* e altri senza. Gli scienziati hanno distrutto le cellule del pancreas, deputate alla produzione di insulina, in entrambi i gruppi di cavie: i topi che producevano la proteina p16, incapaci di produrre insulina, si sono ammalati di diabete con decorso mortale. I topi privi di p16, invece, hanno sviluppato forme di diabete meno grave e sono sopravvissuti. In questi topi, le progenitrici delle cellule dell'insulina erano ancora in grado di moltiplicarsi velocemente, e quindi avevano ripopolato il pancreas. I ricercatori hanno trovato risultati simili esaminando le cellule del sangue e del cervello: la proteina p16 le proteggeva dal cancro ma allo stesso tempo le faceva invecchiare.

Questi risultati vanno a favore di un'ipotesi che Judith Campisi ha sviluppato negli ultimi anni. La selezione naturale favorisce le proteine anti-cancro come p16, ma con moderazione. Se diventassero troppo aggressive queste proteine potrebbero mettere a repentaglio la salute dell'organismo facendolo invecchiare troppo rapidamente. «Si tratta solo di un'ipotesi di lavoro – ammette Campisi – ma i dati su cui poggia stanno diventando sempre più solidi».

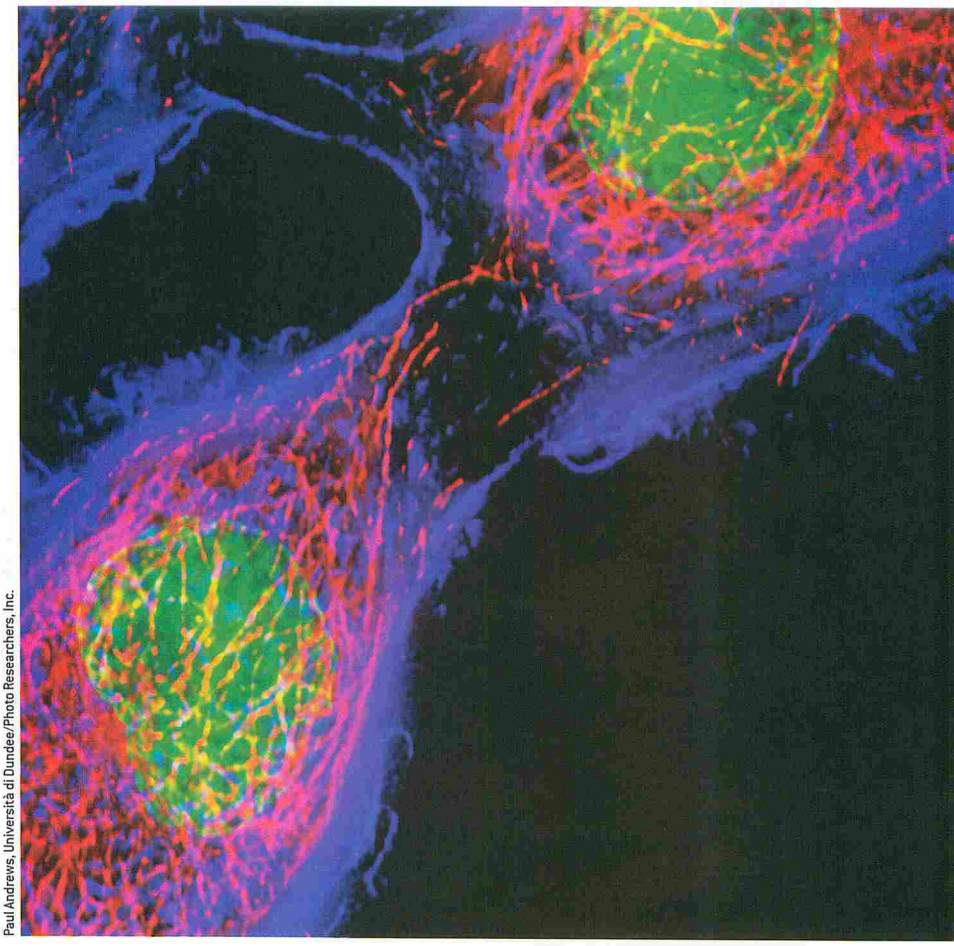
Ritardare l'inevitabile

Un meccanismo di difesa contro il cancro non deve eliminare totalmente la malattia per essere premiato dall'evoluzione. È sufficiente che ne ritardi l'insorgenza fino alla vecchiaia per consentire agli individui di avere, in media, più figli rispetto agli altri. Può sembrare crudele che l'evoluzione affligga le persone anziane con il cancro, ma, come sottolinea Jarle Breivik dell'Università di Oslo: «La selezione naturale non favorisce i geni che ci danno una vita lunga e felice. I geni sono selezionati per la capacità di trasmettere l'informazione che contengono alle generazioni future».

Le proteine anti-cancro come p16 possono favorire i giovani rispetto ai vecchi. Quando p16 spinge una cellula verso la senescenza, la cellula non smette solo di riprodursi, ma inizia anche a sintetizzare proteine in modo non equilibrato. Tra esse c'è il fattore di crescita vascolare endoteliale (VEGF) che innesca la crescita di nuovi vasi sanguigni. Il VEGF favorisce lo sviluppo dei tumori, dando loro un apporto nutrizionale supplementare. Nei giovani l'effetto principale di p16 può essere la soppressione delle cellule cancerose, ma con il passare del tempo può creare una popolazione sempre più numerosa di cellule senescenti, che potrebbe rendere le persone più vulnerabili al cancro in età avanzata.

Un altro modo per ritardare il cancro è quello di mettere a punto diverse strategie di difesa. Gli studi sul tumore al colon, per esempio, mostrano che le cellule del colon devono sperimentare più di una mutazione in geni diversi prima di diventare cancerose, ma questa linea di difesa non impedisce di contrarre il tumore. Tuttavia la necessità di mutazioni multiple nella stessa cellula riduce la possibilità di insorgenza del tumore nei giovani: l'età media a cui viene diagnosticato un cancro al colon è di 70 anni.

Una cellula nella fase finale della divisione.



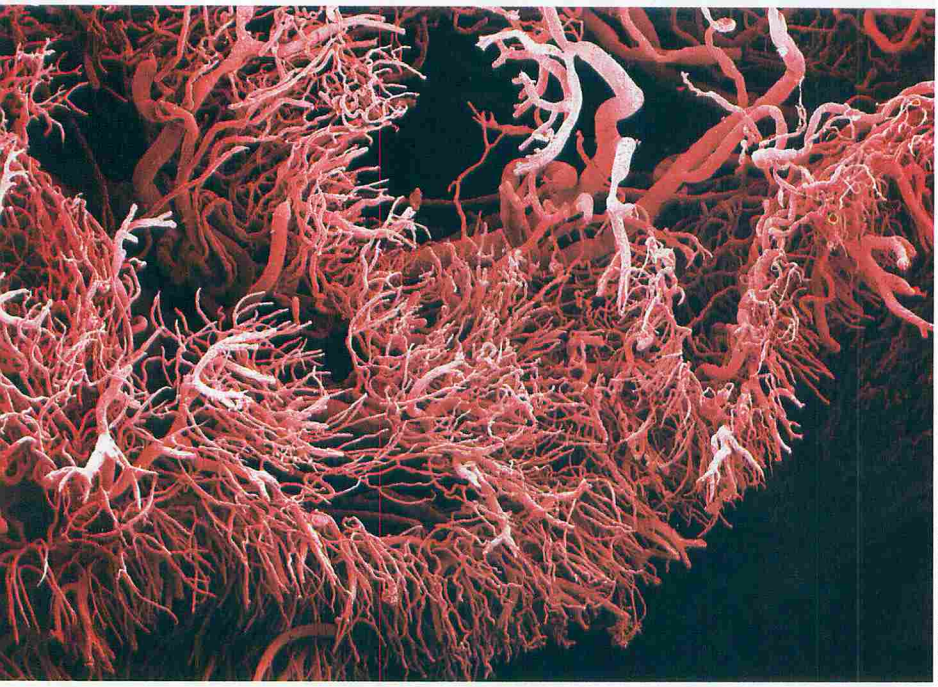
Paul Andrews, Università di Dundee/Photo Researchers, Inc.

Ma non tutti i tipi di cancro colpiscono gli anziani. Per esempio le vittime più frequenti di un tumore della retina, il retinoblastoma, sono i bambini. Leonard Nunney, dell'Università della California a Riverside, sostiene che l'evoluzione è responsabile delle differenze tra i due tumori, e sottolinea che le cellule del colon hanno più possibilità di mutazioni pericolose rispetto alle cellule della retina. Il colon è un organo esteso, composto da cellule che si replicano per tutta la vita dell'individuo: le più vecchie sono continuamente eliminate per desquamazione e sostituite dalle più giovani. Il rischio conferisce un premio evolutivo alle difese che impediscono la trasformazione cancerosa di queste cellule.

«OGNI VOLTA CHE UNA CELLULA SI DIVIDE, SI CORRE IL RISCHIO DI SVILUPPARE UN TUMORE»
Judith Campisi

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

La retina invece è «il tessuto più piccolo che si possa immaginare», secondo la descrizione di Nunney. E in più le poche cellule che la compongono smettono di replicarsi all'età di cinque anni: visto lo scarso numero di divisioni, queste cellule non hanno molte possibilità di diventare cancerose. Il retinoblastoma infatti è un tumore molto raro, che colpisce solo quattro persone su un milione. Poiché il rischio è molto basso, secondo Nunney la selezione naturale non può favorire la diffusone di nuove difese contro il retinoblastoma perché non avrebbe molta influenza sul successo riproduttivo della popolazione.



Calco in resina di un vaso sanguigno in un tumore.

Clouds Hill Imaging LTD/ Photo Researchers, Inc.

Costruire gli strumenti di lavoro

POTER STIMOLARE LA FORMAZIONE DI NUOVI VASI, PER UN TUMORE, È COME AVERE UNA PLACENTA

Recenti ricerche suggeriscono che la selezione naturale potrebbe aver alterato i nostri geni in un modo che ha reso più pericolose le cellule cancerose. I biologi evoluzionisti si sono accorti di questa inquietante possibilità quando erano alla ricerca dei cambiamenti che ci hanno reso umani. Quando i nostri antenati si sono separati dalle altre scimmie antropomorfe, evento avvenuto circa sei milioni di anni fa, hanno sperimentato la selezione naturale: si sono adattati al nuovo stile di vita, come camminare nella savana e fabbricare strumenti. Gli scienziati sono in grado di distinguere i geni che non sono cambiati in modo significativo dalla comparsa degli ominidi a oggi da quelli che invece hanno subito mutazioni consistenti come risultato della pressione selettiva. Il risultato è che alcuni geni che hanno subito drastici cambiamenti sono proprio i geni che hanno un ruolo importante nella genesi del cancro.

Gli scienziati sospettano che questi geni conferiscano un vantaggio adattativo superiore al danno che sono in grado di causare. Uno di questi geni tumorali altamente evoluti produce una specifica proteina, la cosiddetta sintetasi degli acidi grassi, o FAS da *fatty acid synthase*. Le cellule normali usano la FAS per sintetizzare alcuni acidi grassi impiegati in molte funzioni come la costruzione delle membrane e la conservazione dell'energia. Le cellule tumorali producono quantità molto più elevate di proteina FAS, e questa proteina è così importante per le cellule cancerose che bloccare il gene *FAS* che la codifica può indurre la morte cellulare. Confrontando la sequenza del gene *FAS* nell'uomo e in altri mammiferi, Mary J. O'Connell della Dublin City University e James McInerney della National University of Ireland hanno trovato che la versione umana ha subito una forte selezione naturale. «Nella nostra specie, il gene è veramente cambiato», dice McInerney.

James McInerney non sa dire che cosa faccia di diverso nell'uomo la proteina FAS, ma c'è un'ipotesi che lo incuriosisce, formulata negli anni novanta dallo psichiatra David Horrobin, scomparso nel 2003. Horrobin sosteneva che il considerevole aumento sia delle dimensioni sia delle capacità del cervello umano è stato possibile con la comparsa di un nuovo tipo di acidi grassi. I neuroni hanno bisogno degli acidi grassi per costruire le membrane e connettersi tra loro. «Una delle caratteristiche che ci hanno permesso di avere un cervello più grande – ipotizza McInerney – è la capacità di sintetizzare i grassi». Ma insieme a questa nuova capacità si sarebbe creato anche un nuovo strumento che le cellule cancerose potrebbero usare per i propri intenti. Per esempio queste cellule potrebbero usare la proteina FAS per avere una fonte supplementare di energia.

Normalmente molti geni coinvolti nella formazione di tumori a rapida evoluzione sono attivi in tessuti coinvolti nella riproduzione, come per esempio la placenta. Bernard Crespi, della canadese Simon Fraser University, e Kyle Summers, della East Carolina University, affermano che questi geni prendono parte a un conflitto evolutivo tra madri e figli.

La selezione naturale favorisce i geni che consentono ai figli di procurarsi il maggior nutrimento possibile dalla madre. Il feto produce la placenta che invade i tessuti materni da cui estrae sostanze nutrienti: questa necessità pone il feto in conflitto con la madre. La selezione naturale favorisce anche i geni che consentono alla madre di dare alla luce dei figli sani. Se una madre patisce troppo durante la gravidan-

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

za, potrebbero ridursi le sue possibilità di avere in futuro altri figli sani, quindi i geni materni producono sostanze che riducono il flusso di alimenti verso il feto.

Ogni volta che le madri sviluppano nuove strategie per frenare il nutrimento dei feti, la selezione naturale favorisce nuove mutazioni che consentono ai feti di aggirarle. «È un conflitto moderato. C'è un braccio di ferro continuo sulla quantità di alimenti che il feto può sottrarre alla madre», dice Crespi.

Le cellule tumorali potrebbero dirottare i geni per la costruzione della placenta, sostengono Crespi e Summers, e attivarli quando dovrebbero essere spenti. Per un tumore, la capacità di stimolare nuovi vasi sanguigni e una crescita aggressiva hanno la stessa funzione di una placenta. «Sono attività predisposte naturalmente a essere cooptate dalle linee cellulari tumorali», dice Summers. «Le mutazioni possono diventare gli strumenti che le cellule cancerose usano per prendere il controllo dell'organismo».

Ma anche se un'attivazione impropria di questi geni rende più potenti le cellule tumorali, la selezione naturale potrebbe averli favoriti perché facilitano la crescita del feto. «Una variante genica che agevola il feto ad avere più nutrimento dalla madre può essere favorita», dice Crespi. «Ma quando il feto avrà 60 anni lo stesso gene potrebbe incrementare la propensione al tumore. Anche in questo caso, però, il gene verrà selezionato perché produce effetti positivi in età precoce».

Un'altra categoria di cellule che si moltiplicano rapidamente sono gli spermatozoi. Ma mentre le cellule della placenta proliferano solo per pochi mesi, i progenitori degli spermatozoi sono attivi per tutta la vita dell'individuo. «Gli uomini producono per decenni una quantità enorme di spermatozoi», dice Andrew Simpson del Ludwig Institute for Cancer Research di New York. I geni che agiscono in modo specifico negli spermatozoi sono tra quelli che si evolvono più in fretta nel genoma umano. Un gene che consente alla cellula spermatica progenitrice di dividersi più velocemente delle altre diventerà più frequente nella popolazione di spermatozoi di un individuo. E quindi sarà più probabile che vada a fecondare un ovulo e sia trasmesso alle generazioni successive.

Purtroppo, però, i geni che danno agli spermatozoi la possibilità di riprodursi velocemente agiscono anche nelle cellule tumorali. Normalmente le cellule non spermatiche impediscono a questi geni qualunque attività. «Devono essere silenziati perché sono geni pericolosi», dice Simpson. Sembra che nelle cellule cancerose,

Evoluzione di un virus oncogeno

L'American Cancer Society stima che il 17 per cento dei casi di cancro registrati negli Stati uniti, più di 1,8 milioni all'anno (sono oltre 250.000 in Italia), sia causato da virus e altri agenti infettivi. Gli scienziati studiano l'evoluzione di questi patogeni che causano il tumore per trovare indizi utili a combatterli. Uno dei patogeni in questione è il papillomavirus umano, responsabile di gran parte dei 500.000 casi di cancro della cervice uterina diagnosticati ogni anno. Il virus può indurre le cellule ospiti a continuare a dividersi ben più a lungo di quanto facciano normalmente, e impedisce la riparazione dei danni presenti nel DNA cellulare.

Gli scienziati hanno in parte ricostruito la storia evolutiva del virus sequenziando e mettendo a confronto i genomi di centinaia di tipi virali diversi. I papillomavirus, che formano una grande famiglia, si trovano nella maggior parte dei vertebrati, e tipicamente causano verruche o altre escrescenze benigne. Ma quando è comparso *Homo sapiens*, circa 200.000 anni fa in Africa, i nostri antenati erano già portatori di alcuni ceppi che potevano infettare solo la nostra specie e non altre, e fra questi i ceppi che causano il cancro.

IL PAPILLOMAVIRUS UMANO in un'immagine generata dal computer.

Linda M. Stannard, Università di Cape Town/Photo Researchers, Inc.

Dopo circa 100.000 anni, *H. sapiens* si è diffuso negli altri continenti portando i virus con sé. Quando gli umani si sono suddivisi in popolazioni isolate tra loro i papillomavirus hanno fatto lo stesso, e di conseguenza la genealogia dei papillomavirus umani riflette quella della nostra specie. Per esempio la linea evolutiva più antica del virus è più comune negli odierni africani. I nativi americani discendevano dagli asiatici, e i loro virus condividono questa parentela. Questa coevoluzione può essere importante sul piano medico perché i virus sembrano adattati ai loro ospiti. Nell'agosto 2006 sul «Journal of the National Cancer Institute» è stato pubblicato un rapporto sulla persistenza dei diversi tipi di virus nei vari gruppi etnici: una donna infettata da un virus che ha un antico legame con il suo gruppo etnico ne resta portatrice più a lungo rispetto a un'infezione di un tipo diverso.

Si sta anche studiando in che modo certi papillomavirus benigni si sono evoluti divenendo cancerogeni. E queste scoperte sono destinate a essere sempre più importanti, visto che si stanno introducendo vaccini contro i virus. La Food and Drug Administration, l'ente statunitense che si occupa dell'approvazione dei farmaci, ha approvato un vaccino contro il ceppo più pericoloso di papillomavirus, noto come H16. Ma gli studi evoluzionistici indicano che raramente i diversi tipi di papillomavirus umani si sono scambiati i geni responsabili del cancro, anche se c'è il rischio che l'epidemia mondiale di AIDS accresca la probabilità dell'evento. Dato che l'HIV indebolisce le difese immunitarie, l'individuo può essere infettato da più tipi di papillomavirus, ed è plausibile che questa commistione generi un nuovo ceppo oncogeno contro cui i vaccini attuali sarebbero meno efficaci.

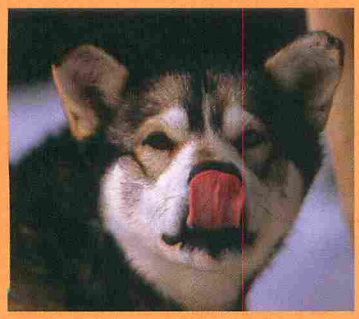
L'AUTORE

CARL ZIMMER scrive spesso di evoluzione per «The New York Times», «National Geographic» e altre pubblicazioni. È autore di cinque libri, tra cui *Parasite Rex* e *Soul Made Flesh*. Attualmente sta lavorando a un testo su *Escherichia coli* e il significato della vita. Ha scritto un articolo sulla neurobiologia del sé, pubblicato su «Le Scienze» n. 449, gennaio 2006.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

La sorprendente storia di un tumore dei cani

C'è un cancro canino, chiamato «sarcoma di Sticker», che è trasmesso sia per via sessuale sia quando il tumore viene leccato o toccato. Una volta insediatosi nel nuovo ospite, può generare tumori che crescono fino alle dimensioni di un grappolo d'uva per poi scomparire gradualmente. Molti scienziati un tempo pensavano che la malattia fosse trasmessa da un virus, come il cancro della cervice uterina. Oggi invece si sa che sono le stesse cellule cancerose a spostarsi di cane in cane, e si diffondono in questo modo da secoli.



GLI HUSKY potrebbero aver innescato la diffusione delle cellule del sarcoma di Sticker nei cani centinaia di anni fa.

Daniel Boschung/Zefa/Corbis

Di recente un gruppo di ricerca dello University College di Londra e dell'Università di Chicago ha analizzato i geni di cellule di sarcoma di Sticker raccolte da cani di tutto il mondo. Si è scoperto che i tumori sono molto più simili geneticamente fra loro rispetto ai cani in cui sono cresciuti, e ulteriori ricerche hanno confermato che appartengono tutti a un'unica linea evolutiva di cellule cancerose. «Rappresenta l'evoluzione di una cellula cancerosa in un parassita di successo che si è diffuso in tutto il mondo», hanno scritto l'anno scorso gli scienziati sulla rivista «Cell». I ricercatori hanno identificato solo pochi altri possibili esempi di tumori parassiti. I diavoli della Tasmania, per esempio, possono trasmettersi una forma di tumore facciale mordendosi fra loro. Come mai non ci sono molti tipi di tumori del genere? Un indizio può venire dal trapianto d'organo. Uno dei maggiori pericoli in un trapianto è il rigetto, la reazione con cui il sistema immunitario del ricevente attacca violentemente l'organo. Tutti i vertebrati rigettano gli innesti di tessuto estraneo con questa intensità. Può darsi che il rigetto si sia evoluto centinaia di milioni di anni fa proprio come difesa contro i cancri parassiti.

Il sarcoma di Sticker sembra aver evoluto alcune contromisure per aggirare questa antica difesa. Le cellule tumorali producono una quantità molto limitata delle proteine di superficie usate dai vertebrati per distinguere il sé dal non-sé, e riescono quindi a evitare l'attacco del sistema immunitario del cane. La reazione immunitaria intacca il cancro solo lentamente, nel corso di alcuni mesi, e le singole cellule cancerose possono sopravvivere anche dopo che il tumore è scomparso. Così questo tipo di tumore, anziché essere un normale cancro che muore con il suo ospite, è diventato un cancro che può vivere per secoli.

invece, si verifichino mutazioni che riescono a riattivarli, aumentando in questo modo la velocità di replicazione.

Il come *contro* il perché

I biologi evoluzionisti sperano che le loro ricerche siano utili alla lotta contro il cancro. Oltre a chiarire perché l'evoluzione non abbia debellato il cancro, possono fare luce su uno dei temi più spinosi per gli oncologi: l'emergere di tumori resistenti ai farmaci.

Spesso i farmaci chemioterapici perdono efficacia sulle cellule cancerose con un processo molto simile all'evolversi della resistenza agli antivirali che si riscontra nel virus HIV. Le mutazioni che permettono alle cellule cancerose di sopravvivere ai chemioterapici fanno sì che queste stesse cellule eliminino dalla competizione le altre, più vulnerabili. Aver compreso l'evoluzione dell'HIV e di altri microrganismi patogeni ha aiutato gli scienziati a elaborare nuove strategie per evitare la resistenza ai farmaci. E attualmente si sta cercando di valutare il modo in cui lo studio dell'evoluzione dei tumori possa portare a metodi migliori nell'uso dei chemioterapici.

I concetti esplorati dai biologi evoluzionisti sono relativamente nuovi per molti dei loro colleghi che si occupano di tumori, e qualcuno mostra grande entusiasmo. Simpson, per esempio, ritiene che comprendere la rapida evoluzione dei geni attivi negli spermatozoi possa aiutare a combattere i tumori che, per così dire, prendono in prestito questi geni. «Penso che sia cruciale capire in dettaglio perché avviene una selezione così potente su questi geni – dice Simpson – e questa scoperta porterebbe a importanti conoscenze sul cancro».

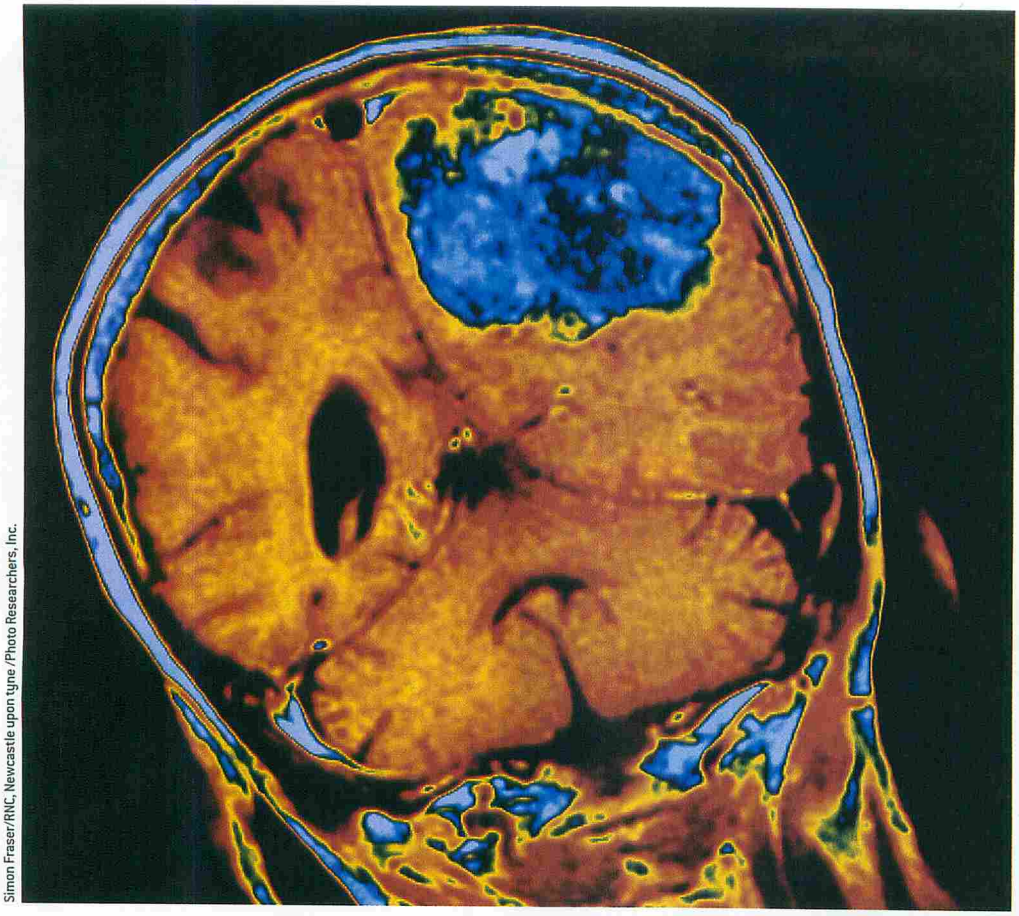
Anche Bert Vogelstein, dell'Howard Hughes Medical Institute, ritiene molto utile esaminare il cancro in chiave evolutiva. «Pensare al cancro in termini evolutivi incontra perfettamente il punto di vista dei genetisti molecolari», dice. «In un certo senso il cancro è un effetto collaterale dell'evoluzione».

Ma Vogelstein non è ancora persuaso dell'importanza dei geni che causano tumori a rapida evoluzione. «Bisogna essere cauti», aggiunge. «Come prima cosa mi chiederei: stiamo guardando all'intero genoma? E se sì, lo si stiamo facendo senza errori?». McInerney è consapevole del fatto che fino a oggi non sono stati fatti studi sistematici, ma i primi risultati indicano che questi studi vanno iniziati.

Alcuni specialisti dei tumori diffidano invece dell'approccio unitario. Christopher Benz, del Buck Institute of Age Research, pensa che prima di essere accettate le ipotesi di tipo evolutivo devono essere sottoposte a prove sperimentali, come qualunque altra ipotesi. «Chiamatemi pure scettico», chiosa.

Lo scetticismo, d'altra parte, è familiare per Crespi, e lo scienziato pensa che nasca dal diverso tipo di domande che i biologi evoluzionisti si pongono rispetto ai biologi dei tumori. «Chi lavora sul cancro ha a che fare con interrogativi sui "come", gli evoluzionisti lavorano sui "perché"», spiega Crespi.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/



Simon Fraser/RNC, Newcastle upon tyne /Photo Researchers, Inc.

LO STUDIO DELL'EVOLUZIONE DEL CANCRO POTRÀ FARCI CAPIRE PERCHÉ È COSÌ DIFFICILE SCONFIGGERE LA MALATTIA

Tumore cerebrale esteso (*in blu*).

Forse, ponendosi domande diverse, i biologi evoluzionisti riusciranno a offrire un contributo ad alcuni dei dibattiti in corso fra i biologi che si occupano di tumori. Una disputa in corso da tempo è se il topo sia un modello valido per i tumori umani. Alcuni biologi evoluzionisti sostengono di no, a causa della loro diversa storia evolutiva. I roditori hanno ereditato un insieme di geni da un antenato comune circa 100 milioni di anni fa, proprio come noi umani. Ma da allora molti di quei geni sono andati incontro a ulteriori mutazioni nelle due diverse linee evolutive. I geni legati al cancro, come *FAS*, possono aver subito drastici cambiamenti evolutivi negli esseri umani anche solo negli ultimi milioni di anni, diventando significativamente diversi dagli analoghi geni del topo.

Il topo può anche essere una cattiva scelta per il modo in cui si riproduce. Gli scienziati hanno selezionato topi da usare in laboratorio in grado di generare più progenie e più in fretta rispetto ai loro cugini selvatici. Queste manipolazioni possono aver alterato il bilancio evolutivo affrontato dai topi, in modo da ricompensare gli animali dell'investimento di energia nella crescita rapida e nella riproduzione in giovane età. Allo stesso tempo questa selezione artificiale può essere selettiva contro le difese dal cancro. «Selezionandoli in base ai ritmi di riproduzione – dice Crespi – abbiamo cambiato le loro storie biologiche.

In ultima analisi, lo studio dell'evoluzione del cancro potrebbe rivelare perché è così difficile sconfiggerlo. «Non c'è una vera soluzione a questo problema», chiude Breivik. «Il cancro è una conseguenza fondamentale del modo in cui siamo fatti. Siamo colonie temporanee che i nostri geni costruiscono per trasmettersi alla generazione successiva. La soluzione al cancro sarebbe riprodurci in un altro modo». LS

PER APPROFONDIRE

CRESPI B.J. e SUMMERS K., *Evolutionary Biology of Cancer*, in «Trends in Ecology and Evolution», Vol. 10, pp. 545-552, 2005.

XI L.F., KIVIAT N.B., HILDESHEIM A., GALLOWAY D.A., WHEELER C.M., HO J. e KOUTSKY L.A., *Human Papillomavirus Type 16 and 18 Variants: Race-Related Distribution and Persistence*, in «Journal of the National Cancer Institute», Vol. 15, pp. 1045-1052, 2 agosto 2006.

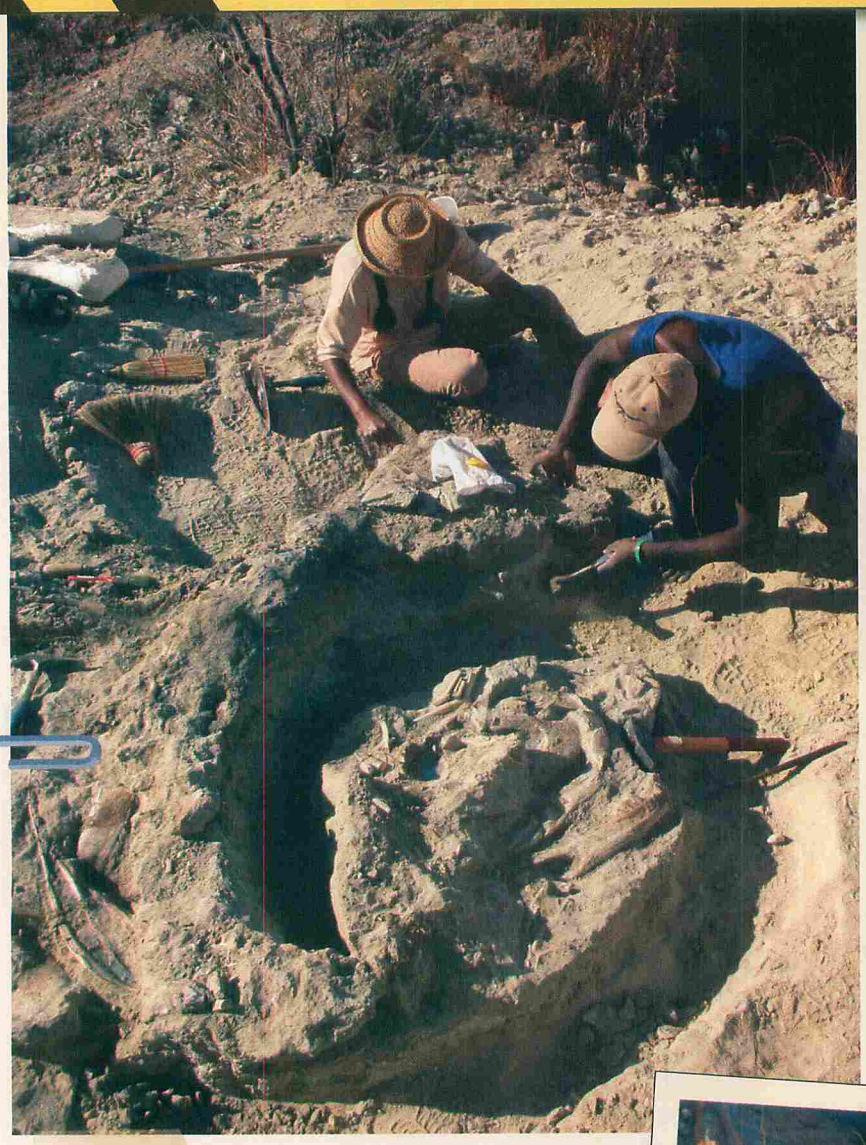
MURGIA C., PRITCHARD J.K., SU YEON KIM, FASSATI A. e WEISS R.A., *Clonal Origin and Evolution of a Transmissible Cancer*, in «Cell», Vol. 126, pp. 477-487, 11 agosto 2006.

BEAUSEJOUR C.M. e CAMPISI J., *Ageing: Balancing Regeneration and Cancer*, in «Nature», Vol. 443, pp. 404-405, 28 settembre 2006.

CRESPI B.J. e SUMRS K., *Positive Selection in the Evolution of Cancer*, in «Biological Reviews», Vol. 81, pp. 407-424, 2006.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

ASSASSINIO



Era un vecchio caso irrisolto: le ossa avevano 70 milioni di anni. Ma c'erano indizi chiave che rivelavano l'identità del killer

di Raymond R. Rogers
e David W. Krause

Raymond R. Rogers

IL GRANDE DINOSAURO CARNIVORO *Majungatholus atopus* (*sopra*) incontrò una fine prematura intorno a 70 milioni di anni fa in quello che oggi è il Madagascar nordoccidentale (*pagina a fronte, in alto*). Il gruppo di ricerca degli autori di quest'articolo ha estratto con cura i resti, tra cui una mandibola munita di denti seghettati adatti a penetrare nelle carni (*a destra*), e li ha imballati nel gesso per trasportarli negli Stati Uniti (*pagina a fronte, in basso*), dove gli studiosi hanno esaminato i fossili in dettaglio alla ricerca di indizi che rivelino la causa della morte dell'animale.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

NEL MESOZOICO

Un corpo è sdraiato sul lato sinistro, testa e collo ripiegati verso il bacino. Braccia e gambe sono ancora nella posizione anatomica corretta, ma un'indagine più approfondita rivela che le ossa di mani e piedi sono spostate, benché gran parte dei pezzi siano presenti e catalogabili. Anche il teschio ha un aspetto piuttosto disarticolato, e i pezzi che lo compongono giacciono l'uno accanto all'altro. Stranamente, la punta della coda manca del tutto. Nelle vicinanze riposano altri cadaveri in diverse condizioni di conservazione e in disordine. Alcuni sono ancora quasi intatti, di altri rimangono solo un teschio, una scapola, il singolo osso di uno degli arti. Le sfortunate creature morirono qui o vi furono portate dopo il decesso? Morirono tutte insieme o in tempi diversi? E che cosa le uccise?

Il nostro team di paleontologi e geologi malgasci e americani ha iniziato a porsi queste domande nell'estate del 2005, subito dopo la scoperta della fossa comune negli antichi sedimenti del Madagascar nordoccidentale, un'isola che deve il suo soprannome, la Grande Isola Rossa, al colore della sua terra. Cercando le risposte, abbiamo portato alla luce informazioni affascinanti, e il modo in cui abbiamo investigato probabilmente è interessante quanto ciò che abbiamo scoperto.

La prima cosa che abbiamo fatto è stata battezzare il sito «MAD05-42», una sigla che sta a indicare il luogo e l'anno della scoperta, e la sua posizione nella sequenza di ritrovamenti delle località fossilifere di quell'area.

CASO APERTO

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

Il secondo passo è stata l'identificazione dei cadaveri. Basandoci sulle scoperte fatte altrove nella stessa regione, abbiamo stabilito rapidamente che la maggior parte dei resti appartenevano a dinosauri di varie specie.

Questo cimitero di dinosauri non è unico nel suo genere in quest'area del Madagascar. Risponde a un modello che abbiamo osservato ripetutamente in dieci anni di indagini geologiche nelle praterie semiaride nei pressi del remoto villaggio di Berivotra, dove abbiamo riportato alla luce, strato dopo strato, diversi decessi di massa, scoprendo resti di animali grandi e piccoli, giovani e vecchi, sepolti insieme in spettacolari letti di ossa. Così, mentre ci davamo da fare per svelare il mistero della morte degli animali a MAD05-42, non potevamo fare a meno di chiederci perché ci fossero così tante fosse comuni proprio in quest'area, e perché i resti fossero così straordinariamente ben conservati.

Riaprire un antichissimo caso irrisolto

Eravamo in ritardo di vari milioni di anni perché potesse esserci utile la maggior parte degli strumenti usati oggi dai medici legali. Per attribuire un significato agli indizi celati nelle ossa e nella roccia, dovevamo affidarci alle tecniche di datazione geologica e a un settore di ricerca noto come tafonomia (dalle parole greche *tafos*, seppellimento, e *nomos*, legge), che si occupa del destino dei resti organici nel loro trapasso dal mondo dei vivi a quello dei morti.

Dopo aver dato un nome al sito, abbiamo estratto le ossa dalle rocce in cui erano intrappolate. Abbiamo iniziato con pale e martelli da roccia per rimuovere il sedimento superficiale, quindi siamo passati a strumenti dentali e spazzole sottili per esporre i resti, stando molto attenti a non danneggiare le fragili superfici ossee. Una volta esposti completamente i resti scheletrici li abbiamo fotografati esattamente dove li avevamo trovati, in modo da registrare ogni relazione spaziale significativa. Poi abbiamo impregnato le delicate ossa di sostanze consolidanti e le abbiamo rivestite di strati protettivi di tela e gesso. Quando il gesso si è assestato, le ossa sono state catalogate e imballate per il loro lungo viaggio verso i nostri laboratori negli Stati Uniti; dove, in seguito, abbiamo minuziosamente rimosso ogni sedimento rimasto ed esaminato le ossa nel dettaglio, concentrandoci in particolare sull'eventuale presenza di segni che potessero rivelare l'identità del killer.

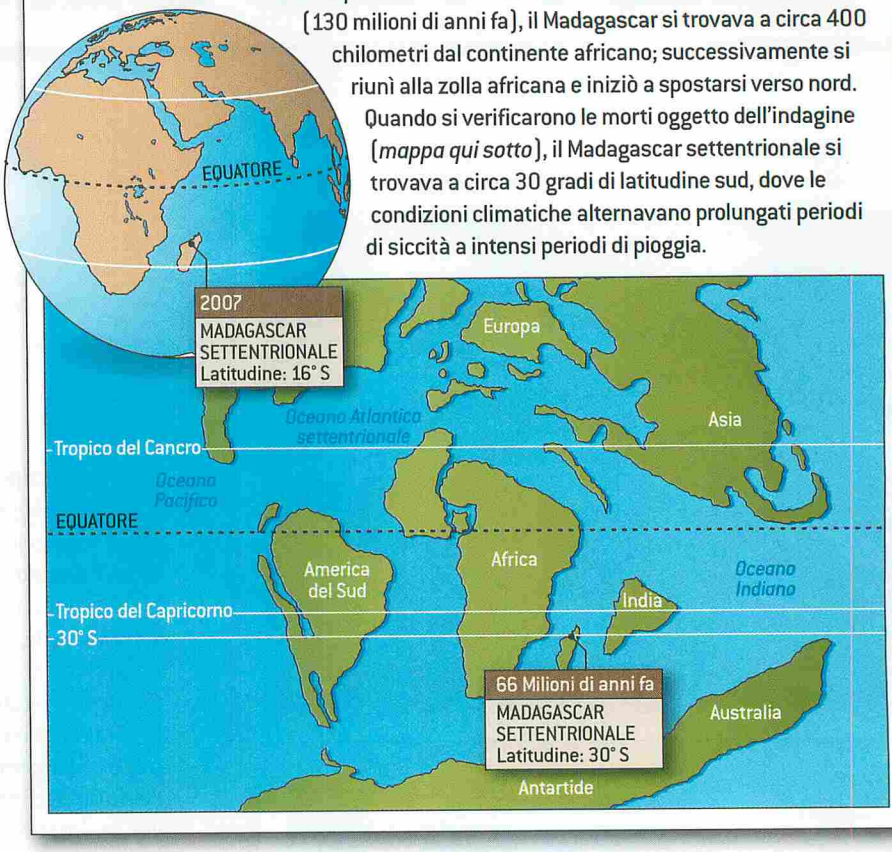
Sul sito avevamo potuto stabilire che i corpi erano conservati in un peculiare tipo di roccia sedimentaria noto come formazione di Maevarano, situato poche decine di metri sotto le rocce depositatesi sul limite Cretaceo-Terziario: l'epoca in cui, 65 milioni di anni fa, tutti i dinosauri (eccetto gli uccelli) e molti altri animali si estinsero su scala mondiale.

La fossa comune è 44,5 metri sotto il confine dell'estinzione in massa e 14,5 metri al di sotto dello strato superiore della locale formazione di Maevarano. Misurando il decadimento radioattivo dei minerali presenti nelle rocce vulcaniche degli strati sottostanti la formazione è risultata una datazione di circa 88 milioni di anni. I sedimenti marini negli strati superiori e intermedi della formazione, depositati dal flusso e riflusso dei mari lungo le coste occidentali dell'isola, contenevano conchiglie e minuscoli scheletri di microrganismi unicellulari risalenti a poco prima della fine del Cretaceo. Tutte le prove temporali indicano perciò che le morti erano avvenute circa 70 milioni di anni fa. Qualsiasi cosa avesse ucciso i dinosauri dello scavo MAD05-42 non c'entrava con la grande estinzione, che ebbe luogo diversi milioni di anni dopo.

Anche la tafonomia ci è stata d'aiuto. Lo studio tafonomico esamina la modifi-

PROVE GEOLOGICHE

La storia della massa continentale del Madagascar fornisce indizi sulla ragione delle morti di massa avvenute 70 milioni di anni fa. All'inizio del Mesozoico (250 milioni di anni fa), il Madagascar era nel cuore del Gondwana. L'attività tettonica diede una nuova disposizione alle zolle litosferiche, e all'inizio del Cretaceo (130 milioni di anni fa), il Madagascar si trovava a circa 400 chilometri dal continente africano; successivamente si riunì alla zolla africana e iniziò a spostarsi verso nord. Quando si verificarono le morti oggetto dell'indagine (*mappa qui sotto*), il Madagascar settentrionale si trovava a circa 30 gradi di latitudine sud, dove le condizioni climatiche alternavano prolungati periodi di siccità a intensi periodi di pioggia.



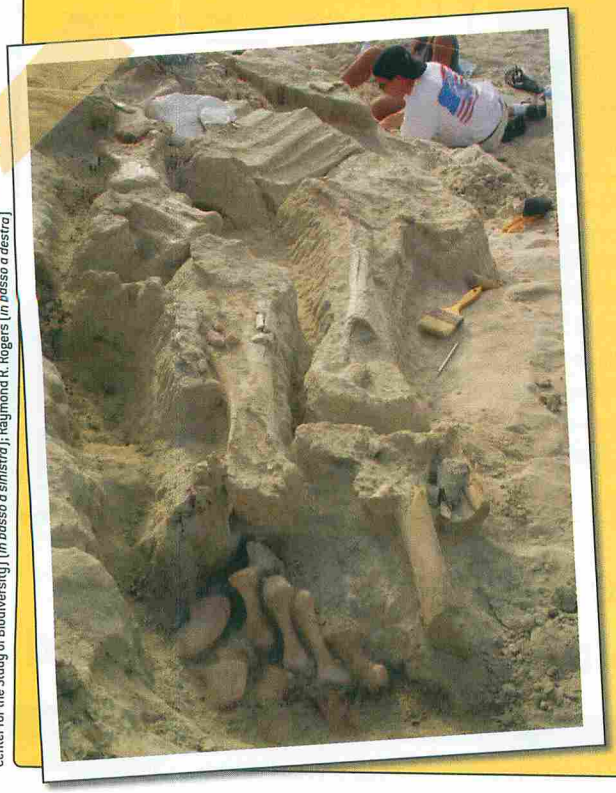
Lucy Reading-Ikkanda

La morte aveva colpito più volte nell'arco di settimane o di mesi

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

Ancora morti in massa

Uno dei primi siti scoperti, MAD93-18, rivela la natura ricorrente della mortalità di massa nell'antico Madagascar in modo più drammatico di qualsiasi altra località. MAD93-18 presenta tre fosse comuni distinte, disposte l'una sopra l'altra. Gli scavi hanno restituito scheletri quasi completi del grande sauropode *Rapetosaurus* (*in basso a sinistra e a destra*) oltre ai resti degli scheletri di molti altri animali sconosciuti alla scienza, tra cui un uccello primitivo, *Rahonavis ostromi* (*a destra*), dotato di ossa piccole e fragili.



Catherine Forster Stony Brook University (*in alto*); Desire Randrianaristra Centre Valbio (International Training Center for the Study of Biodiversity) (*in basso a sinistra*); Raymond R. Rogers (*in basso a destra*)

cazione delle ossa (le ossa furono bruciate, spezzate o morse?), i danni alle carcasse (smembramento e rimozione selettiva di parti del corpo da parte di animali saprofagi o predatori) e la storia della sepoltura (il modo in cui furono sepolti i corpi e che cosa accadde loro successivamente). Anche lo studio dei processi di fossilizzazione – in pratica, ciò che trasforma le ossa in pietra – rientra nel campo di indagine di questa disciplina.

Osservando i resti dello scavo MAD05-42 da un punto di vista tafonomico, abbiamo stabilito che quelle creature morirono lungo un determinato arco di tempo, forse settimane o mesi, perché i loro cadaveri hanno rivelato storie *post mortem* diverse. Per esempio alcune carcasse erano quasi intatte, mentre altre erano state smembrate e sparpagliate in giro, cosa che non sarebbe potuta succedere immediatamente dopo la morte. Inoltre alcune ossa erano in condizioni eccellenti, mentre altre presentavano segni di erosione avanzata e di deterioramento superficiale.

Quando gli animali in un'antica fossa comune sono morti in periodi diversi, descriviamo il sito *time-averaged*, mediato su intervalli temporali, e ricorriamo a indizi tafonomici per stabilire la quantità di tempo trascorsa tra il primo e l'ultimo decesso. Benché non possiamo stabilire esattamente quanto tempo abbia richiesto la formazione di questa particolare fossa comune, sappiamo con certezza che la morte non giunse contemporaneamente per tutti gli animali che vi trovarono sepoltura.

La scena del delitto

Importanti indizi sul responsabile della morte di questi dinosauri sono arrivati anche dalla storia geologica del Madagascar. All'inizio del Mesozoico (250 milioni di anni fa), il Madagascar era nel cuore del Gondwana, la metà meridionale del supercontinente Pangea, stretto tra l'Africa e l'India, con l'Antartide vicino alla sua punta meridionale.

L'attività tettonica riorganizzò presto le zolle litosferiche su vasta scala, tanto che entro il Giurassico superiore (160 milioni di anni fa) il Madagascar si era staccato dall'Africa e si stava muovendo verso sud, con l'India al seguito. Nel Cretaceo superiore (88 milioni di anni fa), il Madagascar si era riconnesso alla zolla africana,

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

Raymond R. Rogers

ANTICHI SUOLI E ROCCE offrono prove convincenti di un clima semiarido durante il Cretaceo superiore. I calchi di radici orientate verticalmente (*in basso a destra*) indicano che le piante si erano adattate a condizioni secche, cercando fonti di umidità in profondità. Molti resti di radici rivelano inoltre agglomerati di carbonato di calcio, che tende a formarsi nelle zone aride. Altri sedimenti, depositati sugli alvei sabbiosi dei fiumi (*immagini in alto*), indicano che la portata d'acqua era enormemente variabile. Quando i fiumi scorrevano, le correnti trascinavano a valle le dune, generando serie di strati inclinati posti l'uno sull'altro (*in alto a destra*). I dinosauri e molti altri animali visitavano questi fiumi poco profondi alla ricerca di cibo: le ossa dello scavo MAD05-42 si trovano infatti in uno di questi antichi canali.

pur restando distante 400 chilometri dal continente vero e proprio, mentre il Subcontinente indiano e l'Antartide si erano staccati e allontanati.

Dopo essersi riunito alla zolla africana il Madagascar si spostò a nord, verso la sua attuale collocazione ai tropici dell'emisfero meridionale. Ma quando avvennero le morti su cui indagavamo, circa 70 milioni di anni fa, il Madagascar settentrionale era a circa 30 gradi di latitudine: ancora lontano dal Tropico del Capricorno (che ora attraversa il Madagascar meridionale) e indubbiamente sottoposto all'influenza climatica subtropicale.

Oggi le maggiori zone desertiche e semidesertiche sono nella fascia compresa tra 15 e 30 gradi a nord e a sud dell'equatore. Queste cinture aride riflettono andamenti di circolazione atmosferica a grande scala che spostano masse di aria calda e secca verso terra dopo aver ceduto la propria umidità vicino all'equatore. Le zone di alta pressione risultanti dalle celle d'aria discendenti tengono quasi sempre a bada le precipitazioni, ma quando la pioggia arriva può essere molto intensa.

Il killer uccise in luoghi diversi, ma con lo stesso modus operandi

GLI AUTORI

RAYMOND R. ROGERS, che si è specializzato in geologia presso l'Università di Chicago nel 1995, è professore associato e dirige la Facoltà di geologia del Macalester College, oltre a essere un ricercatore associato al Field Museum di Chicago e al Science Museum del Minnesota. DAVID W. KRAUSE è *Distinguished Service Professor* presso la Facoltà di scienze anatomiche della Stony Brook University e ricercatore associato al Field Museum. Ha conseguito il dottorato in geologia presso l'Università del Michigan ad Ann Arbor nel 1982.

Le rocce della formazione di Maevarano mostrano prove convincenti di un clima semiarido e stagionale durante il Cretaceo superiore. Le più significative sono paleosuoli (suoli antichi) rossi ossidati, che contengono calchi ben conservati di radici dall'orientamento verticale. Le radici verticali oggi sono comuni nelle zone in cui le piante si sono adattate a condizioni aride, cercando fonti di umidità e nutrienti sempre più in profondità. Inoltre, molti dei resti di radici della formazione di Maevarano sono incrostati di carbonato di calcio o inframmezzati da agglomerati irregolari di questo minerale detti noduli di carbonato. Nel mondo moderno, i suoli ossidati arricchiti di carbonato di calcio si trovano normalmente nelle zone da semiaride ad aride, dove l'evaporazione e la traspirazione limitano gli effetti delle precipitazioni.

Altri sedimenti di questo antico terreno si depositarono nei fiumi sabbiosi e poco profondi, da cui provengono altre prove significative di un passato subtropicale, con una chiara indicazione che la portata

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

Colazione con il cadavere

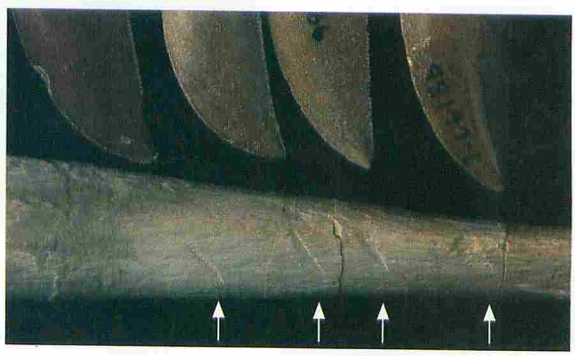
L'alta diffusione della mortalità in Madagascar durante il Cretaceo superiore offrì cibo in abbondanza alle creature che si nutrono di cadaveri. La necrofagia, cioè il nutrirsi di cadaveri o carogne, è una nicchia che deve essere riempita perché il riciclaggio biologico proceda in maniera efficiente, e i suoi moderni praticanti vanno dai batteri a vertebrati di grandi dimensioni. Insieme al collega Eric M. Roberts (ora docente all'Università del Witwatersrand a Johannesburg), abbiamo scoperto tracce di attività di insetti necrofagi nelle ossa di dinosauro trovate in Madagascar: solchi ovali lunghi un centimetro, presenti in ciò che era stato il tessuto spugnoso all'interno delle ossa. Questi solchi dimostrano che coleotteri adulti infestarono i cadaveri, si nutrirono della carogna e quindi deposero le loro uova nei paraggi. Poi, quando le uova si erano schiuse, le larve usavano le loro robuste mandibole per scavare i solchi, che facevano da camera di impupamento.

Ma gli insetti non erano gli unici a nutrirsi di cadaveri. L'analisi dei segni dei morsi ha prodotto prove inconfutabili che anche i dinosauri avevano banchettato in questi siti. In collaborazione con Kristina Curry Rogers, del Science Museum del Minnesota, abbiamo documentato i segni dei denti del teropode *Majungatholus atopus* su una scelta di ossa provenienti da almeno tre fosse comuni diverse. Confrontando forma e dimensioni delle tracce dentali con le mandibole e i denti di diversi carnivori, siamo stati in grado di escludere tutti gli altri sospetti. Alcune delle ossa del nostro campione appartengono al *Rapetosaurus*, un dinosauro sauropode dal collo lungo.

Ma la grande maggioranza delle ossa segnate da morsi, soprattutto costole e vertebre, appartiene proprio a esemplari di *Majungatholus*.

Poiché il cannibalismo come strategia ecologica non è affatto raro tra gli esseri viventi, non appare certo sorprendente registrarlo tra i dinosauri. Trovarne le prove, tuttavia, è stato un altro paio di maniche, e nelle fosse comuni del Madagascar abbiamo documentato il solo caso di cannibalismo finora comprovato tra dinosauri. Purtroppo, la prova dei segni dei morsi non ci dice in modo definitivo se il *Majungatholus* uccidesse effettivamente gli esemplari di cui si cibava, cacciando quindi animali alla sua stessa specie, o se, semplicemente, approfittasse in modo opportunistico dei loro cadaveri.

I SOLCHI OVALI NELLE OSSA DI DINOSAURO (*sopra*) sono il segno che gli scarafaggi delle carogne infestavano i cadaveri, si nutrivano della loro carne e quindi vi deponevano le uova (*sotto*).



QUESTI GRAFFI ELOQUENTI SULLE OSSA, e le sottili scanalature al loro interno (*frecce*), corrispondono con esattezza alle dimensioni e alla spaziatura dei denti e alle chiusure mandibolari anteriori e posteriori del dinosauro *Majungatholus atopus*, il cui morso penetrava nelle carni.

Raymond R. Rogers (*in alto*); Raúl Martín (*al centro*); Marylou Stewart, Stony Brook University (*in basso*)

d'acqua variava drasticamente, probabilmente con un andamento stagionale. Quando i fiumi erano attivi, le correnti trascinavano increspature e dune verso valle, generando serie di strati inclinati disposti l'uno sull'altro che i geologi definiscono stratificazione incrociata.

Non c'è dubbio che i dinosauri e molti altri animali frequentassero questi fiumi: le ossa dello scavo MAD05-42 sono sparpagliate lungo uno di questi antichi canali fluviali. Per alcuni periodi i letti erano asciutti; altre volte vi scorreva una sorta di impasto torbido e denso fatto di sabbia e fango. Ritorneremo su questi fiumi di fango: hanno un ruolo importante nella nostra storia.

Identikit del killer

Un animale solo può morire in molti modi: forse troppi, se l'obiettivo è quello di identificare un killer dai reperti fossili. Ma le alternative si riducono parecchio nei casi di morti di massa, come quella della formazione di Maevarano. Per restringere le possibilità fino a ridurle a una sola, abbiamo fatto ancora una volta ricorso alla tafonomia. Nelle fosse comuni del Madagascar si trovano in genere i resti di più tipi di animali, da specie diverse di dinosauro, come a MAD05-42, a una varietà più eterogenea, come nello scavo MAD93-18 (*si veda il box a p. 59*), che ha restituito scheletri di pesci, tartarughe, serpenti, coccodrilli, tre diversi tipi di dinosauri non aviari, uccelli e mammiferi.

Il nostro assassino, insomma, non fece distinzioni: non si curò di dimensioni,

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

Raúl Martín (*disegno*); Michael Zavada East Tennessee State University (*foto in basso a fronte*)

IL KILLER FU LA SICCITÀ. Gli animali si riunivano negli alvei fluviali riarsi, dove morivano via via che cibo e acqua si andavano esaurendo. Il grande dinosauro *Majungatholus* si cibava di *Rapetosaurus* (*in primo piano*) ma anche di esemplari della sua stessa specie (*dietro, a sinistra*). Gli uccelli (*Rahonavis*) si nutrivano poi delle carcasse. Le cause immediate di morte potrebbero essere state disidratazione, stress da calore, malnutrizione o addirittura avvelenamento, a mano a mano che l'acqua stagnante diventava tossica. Altri animali e insetti carnivori banchettavano poi sulle carcasse fino a incontrare anch'essi la morte quando le piogge torrenziali provocavano colate di fango che ricoprivano morti e morenti, conservandone i resti per 70 milioni di anni.

età, tassonomia o habitat, e questo tende a far escludere i predatori, che normalmente operano almeno un certo livello di selezione della preda. Né ci sono prove a sostegno di uno scenario basato su una malattia (anche se è difficile eseguire test relativi a malattie su ossa fossili).

E dato che gli animali sono morti in tempi diversi, sono esclusi eventi fulminei e drammatici come terremoti, inondazioni o incendi. Qualsiasi cosa abbia ucciso quegli animali, agì in un certo arco di tempo e colpì le vittime singolarmente, dopo che erano arrivate al fiume di propria volontà. Abbiamo inoltre prove inconfutabili che il killer colpì ripetutamente in luoghi diversi, ma con lo stesso modus operandi. Questi animali non furono colti da un malore improvviso durante una brutta giornata del Cretaceo superiore: di brutte giornate ce n'erano state parecchie.

Alla luce delle prove disponibili, siamo in grado di individuare con sicurezza il nostro assassino: la siccità.

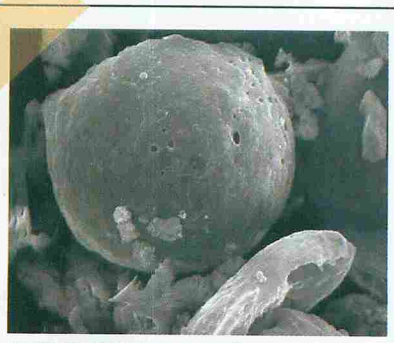
L'opportunità ci fu senz'altro: era un ecosistema subtropicale con chiare indicazioni di aridità e stagionalità. Inoltre possiamo vedere che gli animali si erano riuniti negli alvei asciutti, probabilmente intorno a pozze di acqua residua, dove morivano via via che l'acqua da bere e il cibo si esaurivano. Anche oggi le siccità letali, specialmente in alcune regioni dell'Africa e nell'interno dell'Australia, portano gli animali a riunirsi intorno alle risorse rimanenti. Durante un periodo prolungato di siccità, migliaia di animali possono soccombere nel luogo in cui hanno riposto la loro ultima speranza di un sorso d'acqua, e i loro corpi continuano ad accumularsi per diversi anni in «zone di morte» circoscritte.

Gli studi sulla mortalità attuale dovuta alla siccità indicano che le cause finali della morte degli animali conservati nei siti di Maevarano potrebbero essere diverse: disidratazione, stress da calore, malnutrizione, forse addirittura avvelenamento, quando le riserve d'acqua in esaurimento diventavano putride e nocive. Ci sono infatti interessanti testimonianze della presenza di fioriture di alghe nelle pozze d'acqua stagnante attorno a cui si riunivano gli animali. Michael Zavada, esperto di pollini del Cretaceo della East Tennessee State University, ha isolato minuscole spore di alghe nelle rocce associate alle ossa (*si veda la foto a fronte*); ma se queste spore siano indizi rivelatori della fioritura di alghe tossiche non è stato ancora confermato.

Tombe di fango

Ma come si conservarono i corpi degli animali, molti dei quali così splendidamente? I resti organici tendono a fare una brutta fine sulla superficie del terreno, dove dominano gli animali saprofagi e il sole sbianca lentamente ma inesorabilmente anche le ossa più grandi finché non si frantumano riducendosi in polvere.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/



SPORE DI ALGHE trovate nelle rocce che ricoprono le ossa fanno pensare che le pozze d'acqua fossero diventate tossiche.

PER APPROFONDIRE

FLYNN J. e KRAUSE D., *Monsters of Madagascar*, in «National Geographic», Vol. 198, n. 2, pp. 44-57, agosto 2000.

ROGERS R.R., KRAUSE D.W. e ROGERS K.C., *Cannibalism in the Madagascan Dinosaur Majungatholus atopus*, in «Nature», Vol. 422, pp. 515-518, 3 aprile 2003.

GOODMAN S.M. e BENSTEAD J.P. (*a cura di e traduzione di*), *The Natural History of Madagascar*, University of Chicago Press, 2004.

Per una conservazione a lungo termine di reperti fossili occorre che il seppellimento sia avvenuto il più rapidamente possibile dopo la morte. Si potrebbe affermare che, dal punto di vista di un fossile, una rapida sepoltura è l'unica e fondamentale via per l'immortalità.

Fortunatamente per chi studia questi siti del Madagascar, insieme al killer climatico era all'opera anche un impresario funebre d'eccezione. Le condizioni di siccità che periodicamente scatenavano tragedie lungo gli alvei riarsi prima o poi finivano, e l'inevitabile ritorno delle piogge, provocavano un flusso di detriti. Masse viscose di fango verde e sabbia smosse dall'erosione di origine pluviale si riversavano sopra le ossa, ricoprendole e inglobandole.

Le caratteristiche sedimentarie dei letti di sepoltura riflettono una speciale categoria di flusso fluido in cui la turbolenza viene soppressa, e sia l'acqua sia i sedimenti si muovono in un'unica massa in maniera essenzialmente plastica. Questo tipo di massa fluida, spesso chiamata colata di fango, oggi non è rara. Ne sono un esempio recente le ondate mortali di fango che si sono abbattute in Guatemala nel 2005, provocate dalle piogge torrenziali portate dall'uragano Stan.

Dopo che le mortali siccità avevano riscosso il loro tributo, ogni volta densi strati di fango e sabbia tornavano a ricoprire i corpi e le ossa sparpagliate, sia che appartenessero ad animali morti qualche minuto prima sia da qualche mese, seppellendoli con cura tutti insieme in una tomba sedimentaria protettiva e permanente. Ci sarebbero voluti altri 70 milioni di anni prima che le tombe fossero violate, rivelando le sorprendenti storie che avevano custodito così a lungo. LS

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

Le magie del telescopio Magic

CON I SUOI 17 METRI DI DIAMETRO, Magic è il più grande telescopio per raggi gamma mai costruito. Situato sul vulcano Taburiente a La Palma, nelle Canarie, è frutto di una collaborazione internazionale che conta oltre 120 ricercatori da tutto il mondo, e in particolare dall'Italia.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

Buchi neri supermassicci, microquasar, resti di supernova: i telescopi Cerenkov sensibili ai raggi gamma stanno aprendo uno spiraglio sugli oggetti che popolano la regione di più alta energia dell'universo

di Alessandro De Angelis e Luigi Peruzzo

Quando un satellite segnala in tempo reale alle reti di telescopi un lampo improvviso di raggi gamma, i ricercatori di turno al rivelatore Magic verificano immediatamente che vi siano le condizioni per la rivelazione, e in tal caso decidono di accettare il segnale di allarme. Meno di 30 secondi, compreso il tempo per decidere, e il gigantesco strumento punta verso la sorgente per osservare l'evento: un'emissione energetica di breve durata, ma di grande intensità. Si tratta di fotoni dotati di energie miliardi di volte superiori a quelle della luce visibile che provengono da distanze di centinaia di milioni di anni luce.

Magic è il più grande telescopio per raggi gamma mai costruito. Situato sul cratere del vulcano Taburiente, sull'isola di La Palma, nell'arcipelago delle Canarie, è in grado di registrare il segnale di questi fotoni nella loro interazione con l'atmosfera. Prodotti da eventi violenti a energie molto elevate, come l'accrescimento di buchi neri supermassicci al centro delle galassie, i raggi gamma di altissima energia forniscono informazioni dirette e preziose sui processi che li hanno generati e sulla fisica fondamentale in condizioni estreme.

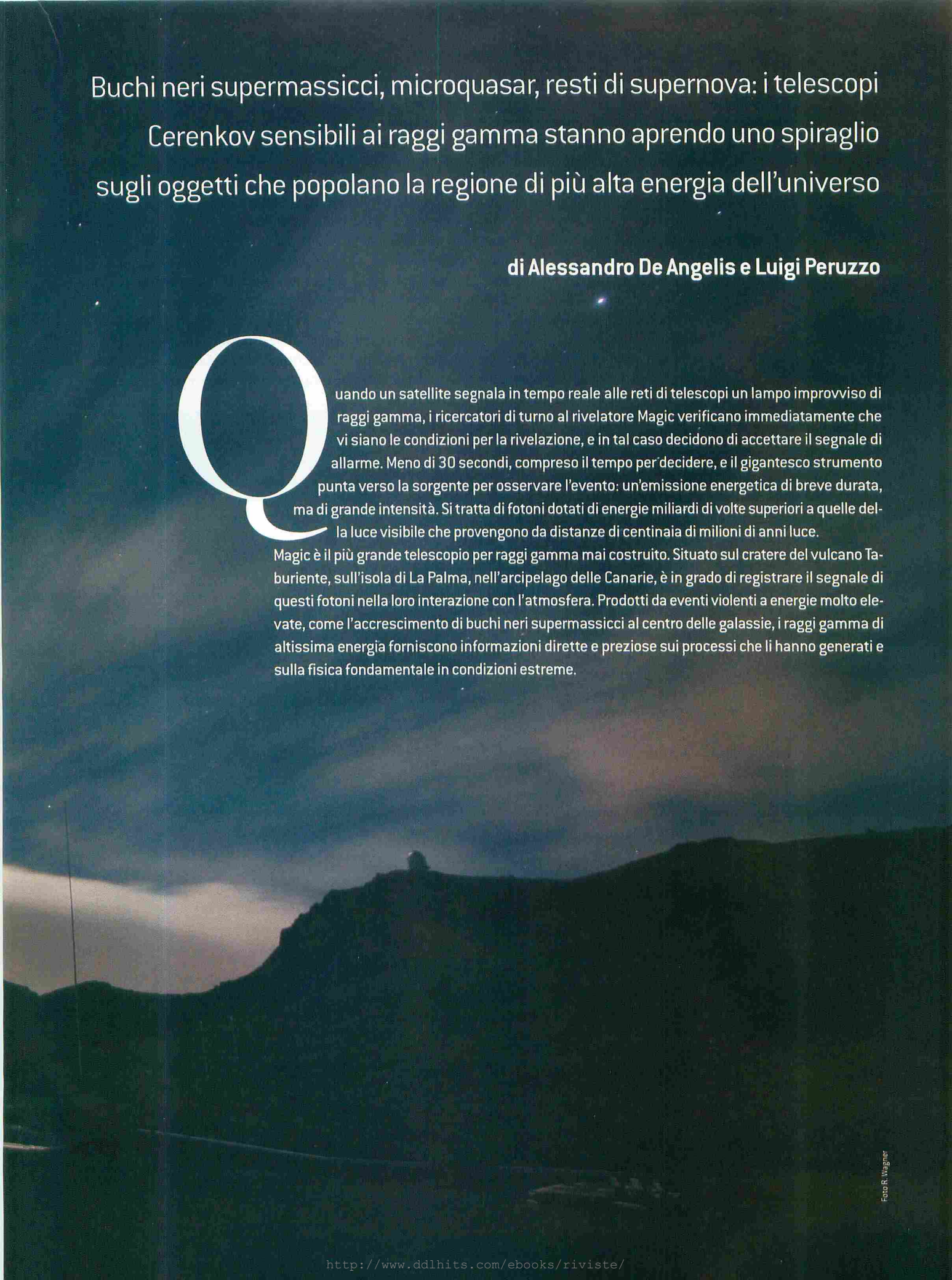


Foto R. Wagner

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

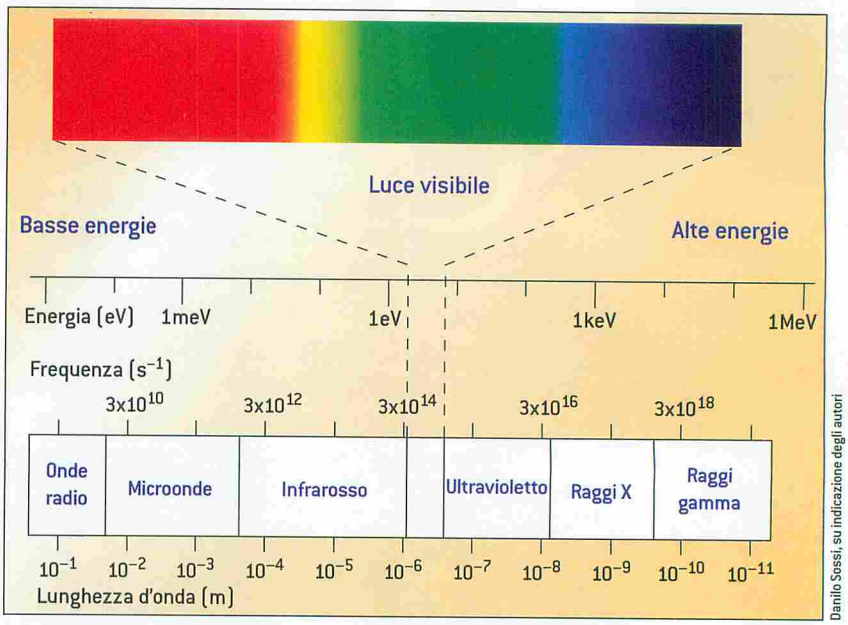
Alle sorgenti dei raggi gamma nell'universo

Da migliaia di anni l'astronomia si fonda sull'osservazione di onde-particelle elettromagnetiche, i fotoni, registrati dallo strumento più naturale per gli esseri umani: l'occhio. Solo una minima parte dei fotoni è però visibile dall'occhio: sono invisibili, per esempio, le microonde a basse energie e i raggi X e gamma ad altissime energie. Per poter osservare i fenomeni che caratterizzano le emissioni gamma, l'astronomia e l'astrofisica hanno sviluppato strategie e strumenti sempre più raffinati, allargando i propri *orizzonti di studio* e interagendo fortemente in modo sinergico. È lo studio combinato dei fenomeni a diverse energie, infatti, che aiuta gli scienziati a tracciare il quadro complesso che sta dietro le sorgenti astrofisiche di alta energia.

L'emissione in banda ottica, ovvero nella regione visibile dello spettro, è caratteristica di sorgenti come le stelle, a temperature superficiali dell'ordine di qualche migliaio di gradi, ed è spiegabile con fenomeni termici. La radiazione X, che ha energie migliaia di volte più alte di quelle della luce visibile, è caratteristica di interazioni elettromagnetiche all'interno delle sorgenti. Lo spettro dei raggi gamma parte da energie centinaia di migliaia di volte superiori a quelle della luce visibile all'occhio umano: la regione di altissime energie si estende convenzionalmente a partire da una decina di GeV (un GeV, gigaelettronvolt, è all'incirca l'energia corrispondente alla massa di un protone) ed è illimitata superiormente.

L'emissione gamma può essere spiegata da particolari processi elettromagnetici e da processi come quelli tipici delle interazioni forti. Alla base dell'emissione di alte energie c'è il motore dell'universo, l'energia gravitazionale. Parte di questa energia è convertita in radiazione elettromagnetica attraverso processi come la radiazione di sincrotrone, che genera raggi X in seguito all'accelerazione di elettroni nei campi magnetici stellari. Questi fotoni possono a loro volta interagire con elettroni accelerati, e «rimbalzare» con energie ancora più alte, fino all'ordine del migliaio di GeV e oltre.

Questo meccanismo (detto meccanismo Ssc, da *Self-Synchrotron Compton*) è stato visto al lavoro da Magic, che ha rivelato spettri spiegati quantitativamente dal modello appena descritto. Una sorgente importante di radiazione a energie ancora più alte, oltre le migliaia di GeV, sembra essere legata a esplosioni di supernova in un ambiente ricco di gas interstellare (soprattutto idrogeno). L'onda d'urto generata dall'esplosione comprime violentemente il gas e accelera i nuclei di idrogeno, protoni, che ricollidono con il gas diffuso nell'ambiente circostante la stella. Questa reazione porta alla produzione di pioni neutri, particelle che decadono in fotoni gamma in tempi dell'ordine di 10^{-16} secondi. In generale la radiazione delle sorgenti gamma in funzione dell'energia E ha uno spettro di intensità decrescente come $E^{-\alpha}$, con l'indice spettrale α tipicamente compreso tra 2 e 3.

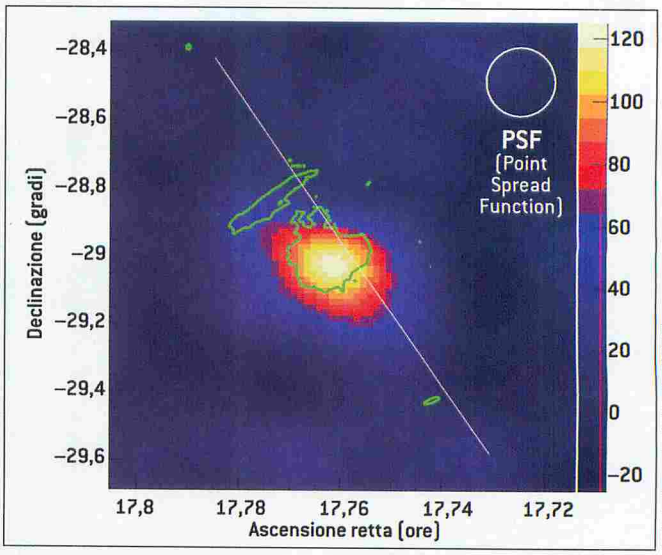


Danilo Sossi, su indicazione degli autori

I RAGGI GAMMA, terreno di indagine del telescopio Magic, sono la banda più energetica dello spettro elettromagnetico. Sotto, il centro della galassia fotografato da Magic.

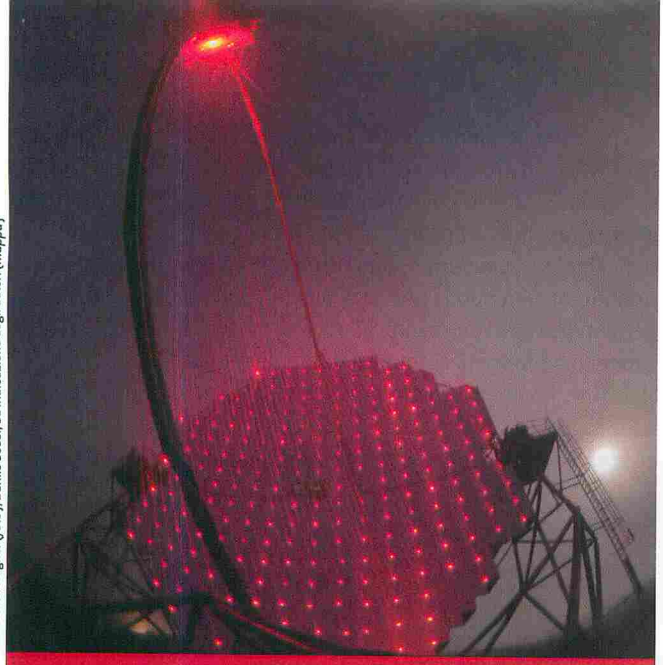
In sintesi/*Effetto Cerenkov*

- Completato nel 2004 sul vulcano Taburiente, nell'isola di La Palma, alle Canarie, il telescopio Magic – con un diametro di 17 metri – è il più grande telescopio per raggi gamma mai costruito.
- Il principio di funzionamento di Magic, e di altri tre telescopi simili attualmente operativi, è basato sull'effetto Cerenkov, il fenomeno per cui le particelle prodotte dai raggi gamma nell'interazione con l'atmosfera, superando la velocità della luce nell'aria, generano un lampo registrabile a terra.
- Grazie ai telescopi Cerenkov, negli ultimi tre anni è stato possibile individuare un gran numero di sorgenti che emettono raggi gamma, tra cui nuclei galattici attivi, microquasar e resti di supernova. Ma questi strumenti potranno essere utili anche nella caccia alla materia oscura.



Cortesia Alessandro De Angelis e Luigi Peruzzo

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/



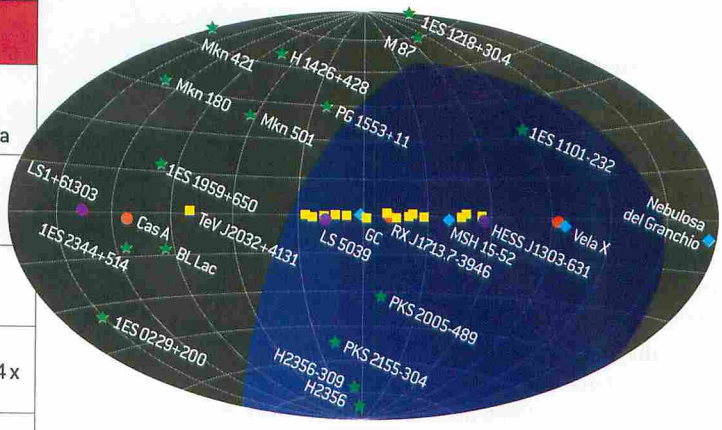
Cortesia R. Wagner (*foto*); Danilo Sossi, su indicazione degli autori (*mappa*)

TUTTI I NUMERI DI MAGIC

Organizzazione	La collaborazione Magic è composta da Armenia, Bulgaria, Finlandia, Germania, Italia, Polonia, Spagna, Stati Uniti e Svizzera
Enti italiani	Istituto nazionale di fisica nucleare, Università di Padova, Università di Siena, Università di Udine
Località	Vulcano Taburiente a La Palma, Isole Canarie, 2250 metri sul livello del mare
Lunghezza d'onda	Raggi gamma da 50 GeV a 10 TeV (corrispondenti a lunghezze d'onda da 2,4 x 10^{-17} metri a 1,2 10^{-19} metri)
Data di completamento	2004
Caratteristiche fisiche	
Tipo di telescopio	Riflettore parabolico alto-azimutale
Diametro	17 metri
Superficie ottica	236 metri quadrati, costituita da 964 elementi riflettenti di 49,5x49,5 centimetri quadrati ciascuno
Lunghezza focale	17 metri
Meccanica	Struttura in fibra di carbonio
Massa	64 tonnellate
Tempo di riposizionamento (mezza rotazione)	22 secondi
Rivelatore focale	Sistema di 576 fotomoltiplicatori
Caratteristiche tecniche	
Campo di vista	3,6 gradi
Area efficace	6000 metri quadrati a 1 TeV
Minima intensità rivelabile a 5 deviazioni standard in 50 ore	0,02 Crab (dove un Crab è l'intensità della sorgente gamma nella Nebulosa del Granchio)
Risoluzione angolare su una sorgente	0,1 gradi
Risoluzione in energia	20% a 1 TeV (30% a 100 GeV)
Tempo di campionamento	3 nanosecondi

Un altro aspetto particolarmente interessante è legato al fatto che le stelle di massa circa dieci volte più grande di quella del Sole, terminando la loro esistenza con un'esplosione di supernova, hanno in generale vita molto breve su scala astronomica (10-20 milioni di anni), e implodono nello stesso ambiente in cui sono nate. Dato che la galassia è sostanzialmente trasparente all'emissione gamma ad altissima energia, questa radiazione giunge alla Terra inalterata. In definitiva, l'emissione gamma di altissima energia da una galassia che ospita attività di formazione stellare traccia il tasso locale istantaneo della formazione stellare.

Negli ultimi tre anni, grazie alle osservazioni compiute dai nuovi telescopi gamma, il numero di sorgenti conosciute che emettono in questa banda di energie è più che decuplicato rispetto a quanto noto in precedenza, e ora si conosce una cinquantina di emettitori. In una mappa gamma dell'universo (*qui sotto*) si cominciano a disegnare le strutture fondamentali: il



MAPPA DELLE SORGENTI DI RAGGI GAMMA di altissima energia (superiore a 100 GeV) nell'universo. Prima dell'avvento dei quattro grandi telescopi Cerenkov, tra i quali Magic, si conoscevano soltanto tre sorgenti di questo genere. I diversi simboli sulla mappa rappresentano diversi tipi di sorgenti: i nuclei galattici attivi (*stelle in verde*), resti di supernova con una stella di neutroni all'interno (o plerion, *rombi in azzurro*), resti di supernova a guscio (*cerchi in arancione*), sistemi binari (*cerchi in viola*) e altre sorgenti o sorgenti non identificate (*quadrati in giallo*).

piano della Via Lattea e le sorgenti extragalattiche. La mappa sembra ricalcare, per quanto riguarda le strutture principali, quella ottica, anche se alcuni oggetti non sembrano avere un corrispondente visibile, e sono per così dire «nuovi»; l'esplorazione è stata condotta fino a una profondità di 8 miliardi di anni luce, il limite raggiunto dalle osservazioni.

Per citare alcuni esempi di nuove sorgenti, è stata scoperta una ventina di galassie in cui un buco nero supermassiccio, pari a milioni di masse solari, si accresce inglobando i corpi stellari vicini, ed emette getti di particelle cariche e fiotti di raggi gamma. Una di queste galassie è proprio la nostra, la Via Lattea. Per fotografare l'immagine di un buco nero, per sua natura invisibile, si può sfruttare un effetto indiretto: nei collassi gravitazionali legati alle grandi masse divorate dal buco nero si generano interazioni di altissima energia, che portano all'emissione di raggi gamma. Il metodo principe consiste quindi nell'osservare l'emissione di raggi gamma nell'intorno del buco nero.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

I buchi neri supermassicci si accrescono con velocità variabile: di quando in quando si osservano transizioni catastrofiche, veri e propri terremoti conseguenti a una brusca variazione della potenza di accrescimento. In questo caso si rileva una crescita improvvisa della radiazione gamma, chiamata *flare*. I *flare* da galassie lontane sono importanti sia per l'informazione che forniscono riguardo alla dinamica cosmica sia perché permettono lo studio di eventuali dipendenze del tempo di arrivo del segnale luminoso dall'energia del fotone.

Le teorie ispirate alla gravità quantistica – la recente frontiera della teoria dei campi verso l'obiettivo di unificare le forze – prevedono infatti una violazione della relatività speciale: la velocità della luce potrebbe dipendere dall'energia, ma l'effetto sarebbe osservabile solo a energie elevate come quelle dei raggi gamma e per sorgenti a grandissima distanza.

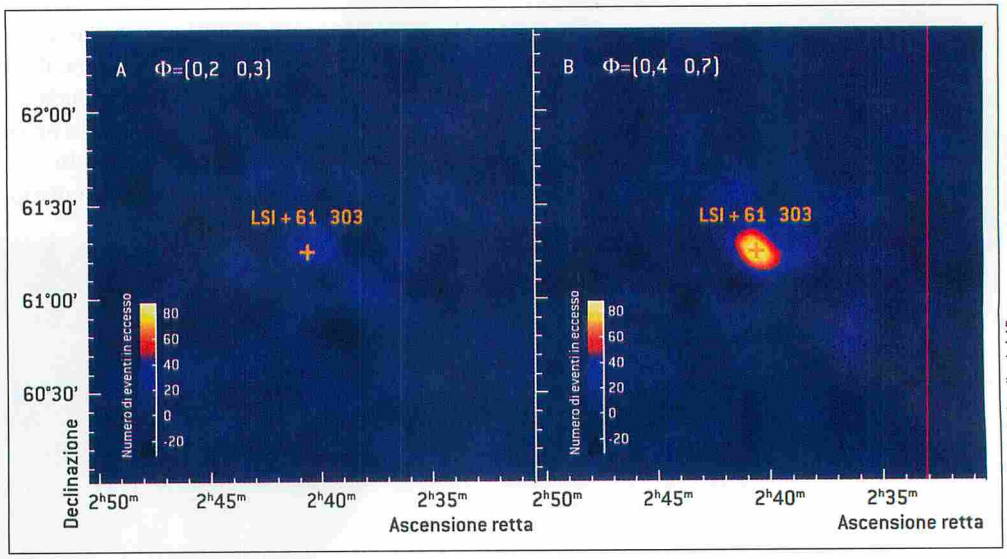
Magic sta esplorando le regioni di energia più alte mai toccate, e ha ormai una sensibilità confrontabile con l'energia alla quale si ritiene che gli effetti dell'unificazione delle forze divengano visibili, quella corrispondente alla cosiddetta «massa di Planck», pari a circa 10^{19} GeV, molto oltre i limiti degli acceleratori costruiti a Terra. Lo studio delle galassie lontane consente inoltre di misurare la quantità di luce presente nell'universo: i raggi gamma provenienti da queste sorgenti interagiscono con la luce visibile e infrarossa presente negli spazi intergalattici, sicché il loro spettro energetico si deforma durante il percorso verso la Terra.

Per quanto riguarda le sorgenti extragalattiche, Magic ha la possibilità di ricevere informazioni dalle reti di satelliti (*si veda il box a pp. 72-73*), e di reagire ad allarmi da sorgenti transienti, come i lampi di raggi gamma. Già tre volte Magic è riuscito a puntare lampi di raggi gamma durante l'emissione, anche se l'osservazione non ha dato per il momento segnali positivi alle energie rilevabili dallo strumento.

Altra interessante scoperta sono sorgenti periodiche di raggi gamma nella Via Lattea. Per la prima volta Magic ha misurato l'emissione periodica di raggi gamma da un microquasar (scoperta pubblicata nel giugno 2006 su «Science»). I microquasar, quasar in scala ridotta e con tempi di evoluzione milioni di volte più brevi, sono sistemi binari costituiti da una stella ordinaria molto più massiccia del Sole e da un oggetto compatto che può essere una stella di neutroni o un buco nero. I due oggetti sono legati gravitazionalmente, e orbitano l'uno intorno all'altro; quando sono sufficientemente vicini, l'effetto di marea può causare un improvviso trasferimento di materia dalla stella normale alla compagna compatta. Una parte dell'energia gravitazionale liberata da questo scambio su trasforma in energia meccanica, e produce getti di particelle che vengono «sparati» a una velocità prossima a quella della luce assieme a una spettacolare emissione di radiazione.

I microquasar sono ritenuti anche sorgenti di raggi cosmici carichi. Magic ha recentemente studiato uno dei circa 20 microquasar noti, LSI+61 303. Il sistema stellare binario è stato osservato a varie fasi lungo l'orbita, che ha un periodo di 26 giorni, e le variazioni dell'emissione sono risultate correlate con le variazioni orbitali, suggerendo la presenza di periodicità. Questa nuova scoperta indica che l'emissione gamma di altissima energia potrebbe essere una proprietà comune a tutti i microquasar.

Infine, il cerchio si stringe attorno alla materia oscura. Questa forma di materia non ancora rivelata, che costituisce circa un quarto del contenuto totale di energia dell'universo e circa il 90 per cento della sua massa, manifesta i suoi effetti gravitazionali in molteplici fenomeni astronomici, ma la sua natura è uno dei principali misteri della fisica moderna. Si pensa che la materia oscura emetta un segnale gamma caratteristico nell'intorno di punti di accumulazione, e i telescopi gamma stanno cercando questi punti. La scoperta dell'emissione gamma avrebbe una duplice valenza scientifica: da un lato risolverebbe il mistero della materia oscura, e dall'altro ne rivelerebbe la natura, confermando o smentendo le teorie sulla supersimmetria non ancora verificate (e forse non verificabili) negli esperimenti con gli acceleratori.



Cortesia Alessandro De Angelis e Luigi Peruzzo

Una scienza in esplosione

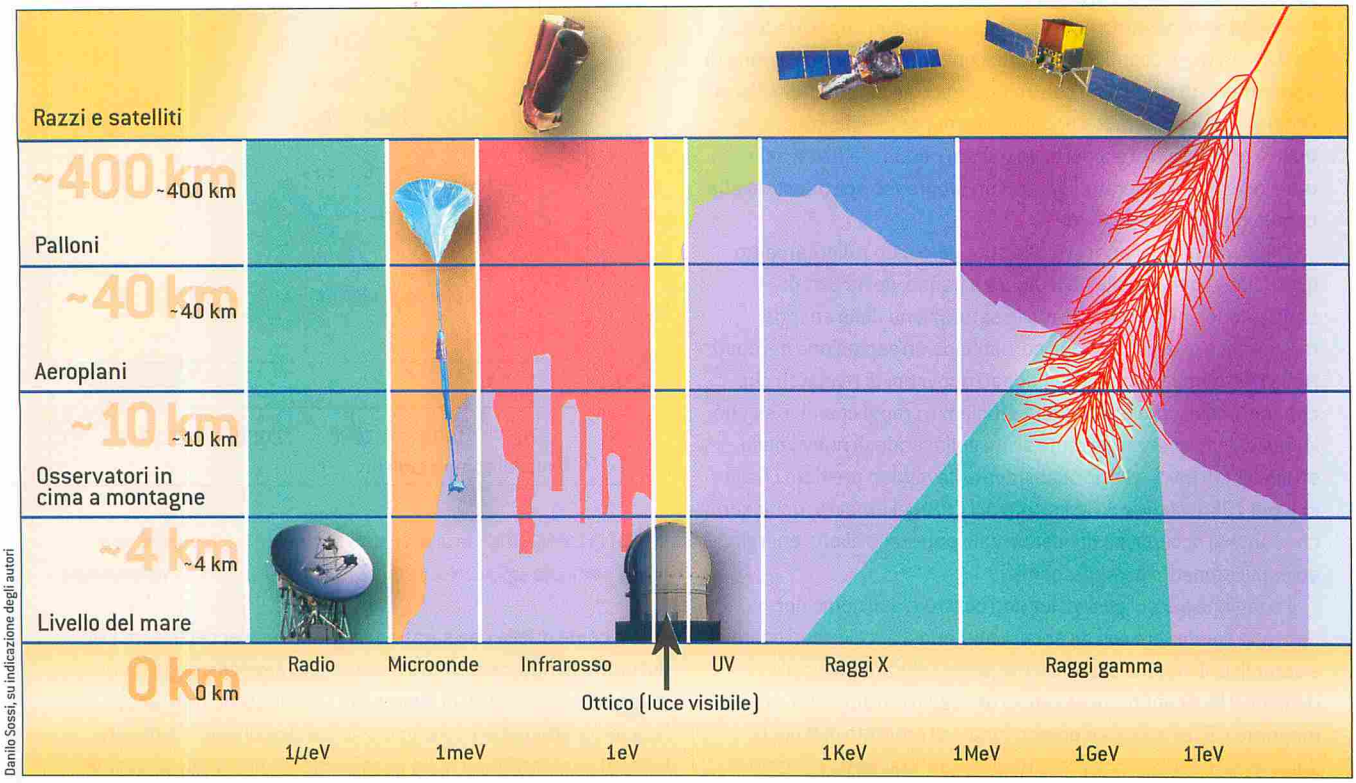
Sin dall'inizio del secolo scorso sono state evidenziate le proprietà ionizzanti della radioattività: i cosiddetti elettroscopi, i primi apparecchi utilizzati per misurare l'elettricità, tendono a perdere la loro carica se avvicinati a sostanze radioattive. La perdita di carica si osserva anche se gli elettroscopi non sono vicini a sorgenti, da cui la conclusione che esistono radiazioni ionizzanti nell'atmosfera. Nel 1912 il fisico austriaco Victor Hess e il tedesco Wolfang Kohlhorster, salendo con palloni aerostatici, misurarono indipendentemente l'uno dall'altro la ionizzazione a differenti altezze nell'atmosfera. I loro esperimenti provarono l'esistenza di radiazioni di origine non terrestre, a cui il fisico americano Robert Millikan diede il nome di raggi cosmici.

Per capire le caratteristiche di queste radiazioni, negli anni trenta furono condotti molti studi, in particolare quelli del fisico

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

francese Pierre-Victor Auger e dell'italiano Bruno Rossi (che operò prima a Padova e poi, a seguito delle persecuzioni razziali, negli Stati Uniti). I raggi cosmici arrivano principalmente dal Sole (è il cosiddetto vento solare); quelli di energia più alta, che penetrano più facilmente nell'atmosfera, provengono da altre sorgenti della nostra galassia e probabilmente anche da sorgenti extragalattiche. Queste radiazioni si possono sostanzialmente suddividere in tre grandi famiglie: radiazioni di particelle cariche, radiazioni elettromagnetiche, radiazioni neutre non elettromagnetiche (come i neutrini). Grande sforzo sperimentale viene profuso nella ricerca di una quarta famiglia, i gravitoni, mediatori della forza gravitazionale, previsti dalla teoria ma non ancora osservati.

Le radiazioni di particelle cariche sono composte da protoni, elettroni, nuclei atomici ionizzati e piccole quantità di antimateria. Viaggiando attraverso la Via Lattea, sono deviate dal debole campo magnetico galattico (all'incirca pari a un milionesimo del campo magnetico terrestre), e raggiungono la Terra dopo aver perso tutte le informazioni sulla loro direzione originaria.



Danilo Sossi, su indicazione degli autori

L'ALTITUDINE FINO ALLA QUALE PENETRA UN FOTONE influenza la scelta degli strumenti da usare per la rivelazione. Mentre le onde radio e la luce visibile sono ben rivelabili a terra, i raggi gamma lo sono solo a energie più alte di una cinquantina di GeV, come sciami elettromagnetici. A fronte, la mappa dell'emissione gamma misurata da Magic attorno alla posizione di LSI + 61 303 in due differenti fasi orbitali: quando le due stelle sono a distanza minima fra loro (A, periastro) e a un terzo dell'orbita dopo il periastro (B).

GLI AUTORI

ALESSANDRO DE ANGELIS, coordinatore scientifico del telescopio Magic, è professore di fisica sperimentale a Udine e a Lisbona, e responsabile di Magic per l'Istituto nazionale di fisica nucleare (INFN). È approdato all'astrofisica delle particelle nel 1999, dopo sei anni trascorsi al CERN di Ginevra come associato e quindi staff member all'acceleratore LEP. LUIGI PERUZZO, professore di fisica sperimentale al Dipartimento di fisica dell'Università di Padova, di cui è stato direttore dal 1992 al 1997, ha condotto ricerche in fisica delle particelle elementari fin dagli anni sessanta, con esperimenti in camera a bolle al CERN e all'Università di Berkeley. Negli ultimi 15 anni si è dedicato a ricerche in fisica astroparticellare. È stato tra i promotori di Magic, e fino al 2004 ne ha coordinato i gruppi italiani.

Le particelle neutre, invece, arrivano ai rivelatori senza che l'informazione della direzione originaria di provenienza sia perduta. I fotoni gamma (chiamati raggi gamma per motivi storici) occupano la parte più energetica dello spettro; possono percorrere lunghe distanze senza essere deviati dai campi magnetici galattici ed extragalattici. Per la loro altissima energia, sono spesso associati a processi «duri» come collassi gravitazionali verso buchi neri, e non sono contaminati da prodotti di processi termici.

I gamma però non sono facili da osservare. Contrariamente alla luce visibile, infatti, non si possono riflettere su superfici o venire concentrati con sistemi ottici su rivelatori. Si comportano più verosimilmente come proiettili energetici e la loro rivelazione deve essere effettuata con strumenti e metodologie tipiche della fisica subnucleare. Inoltre, poiché non riescono ad attraversare indenni l'atmosfera terrestre, per evidenziarli si devono collocare i rivelatori fuori dall'atmosfera stessa, e dunque porli su satellite, o costruire strumenti come Magic, in grado di rivelare il segnale delle particelle secondarie prodotte dal raggio gamma primario.

I satelliti, considerando il costo attuale delle tecnologie spaziali, sono vincolati a piccole dimensioni e piccole aree efficaci: di fatto, dato il calo esponenziale del flusso di fotoni gamma con l'aumentare dell'energia, le massime energie rivelabili su satel-

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

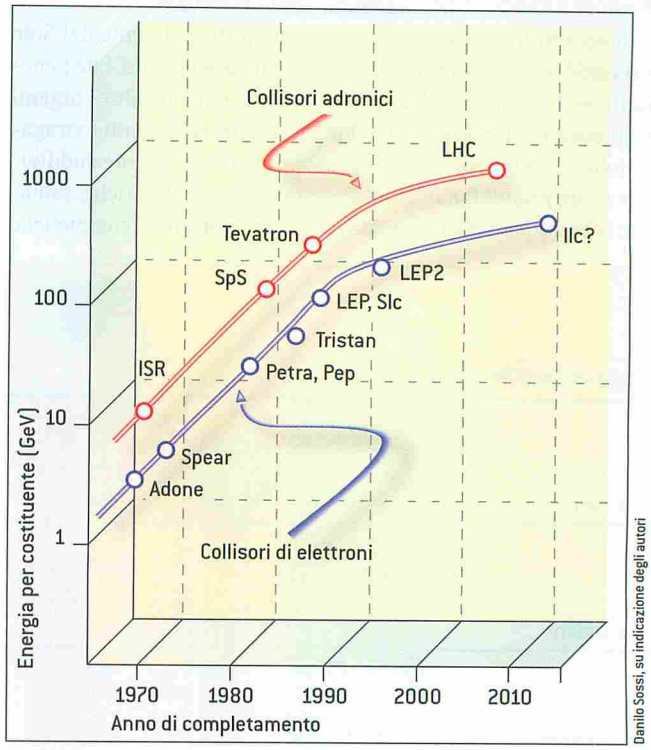
ALLE FRONTIERE ESTREME DELLA FISICA: LA FISICA ASTROPARTICELLARE

La fisica delle alte energie è nata come fisica dei raggi cosmici: non appena si scoprì che particelle di altissima energia arrivano dal cosmo, gli studiosi di fisica fondamentale, nei primi decenni del secolo scorso, costruirono sulle montagne centri di rivelazione. Alle origini la fisica delle particelle si poteva dunque definire, con un termine moderno, «astroparticellare».

In seguito i fisici impararono a produrre in laboratorio particelle di altissima energia con gli acceleratori; dal 1950 alla fine degli anni novanta la fisica agli acceleratori superò la fisica basata sui raggi cosmici, in quanto consentiva la realizzazione di esperimenti in condizioni controllate. Per una cinquantina d'anni l'energia generata crebbe esponenzialmente con il tempo, e con essa il potenziale di scoperta; in questo periodo la fisica delle particelle agli acceleratori garantì un progresso spettacolare alla conoscenza fondamentale.

Negli ultimi dieci anni si è assistito però a un rallentamento dei risultati, ben visibile nella figura a fianco, detta plot di Livingstone, nella quale si nota la saturazione delle energie raggiunte: a tale saturazione corrisponde un'esplosione dei costi. Nello frattempo sono stati sviluppati nuovi tipi di rivelatori che consentono di studiare con alta efficienza i raggi cosmici, sicché la fisica delle energie estreme si sta collocando di nuovo nello studio di tali particelle. Probabilmente l'avevano previsto i fisici che nel 1953, scrivendo lo statuto del CERN di Ginevra, richiesero che l'ente si occupasse di ricerca sulle particelle di alta energia, ed esplicitamente di raggi cosmici.

La ragione per cui gli acceleratori costruiti dall'uomo non possono competere con gli ancora misteriosi acceleratori cosmici è semplice. Il metodo più efficiente per accelerare particelle richiede il loro confinamento entro un raggio *R* tramite un campo magnetico *B*, e l'energia è proporzionale al prodotto di *R* per *B*. Sulla Terra è difficile ipotizzare raggi di confinamento più grandi di un centinaio di chilometri e campi magnetici più forti di una decina di tesla (100.000 volte il campo magnetico terrestre). Questa combinazione può fornire energie dell'ordine della decina di TeV, come quelle che saranno raggiunte nell'acceleratore LHC del CERN. In natura ci sono invece acceleratori con raggi molto maggiori, come i relitti di supernove (centinaia di anni luce) e i nuclei galattici attivi delle galassie (decine di migliaia di anni luce): da essi arrivano sulla Terra particelle di energie di decine di milioni di TeV. Oggi finalmente sappiamo sfruttare questi acceleratori cosmici, che, a differenza di quelli costruiti dall'uomo che costano ormai miliardi di euro, sono gratis.



IL PLOT DI LIVINGSTONE indica l'energia disponibile per la creazione di nuove particelle agli acceleratori in funzione dell'anno di completamento.

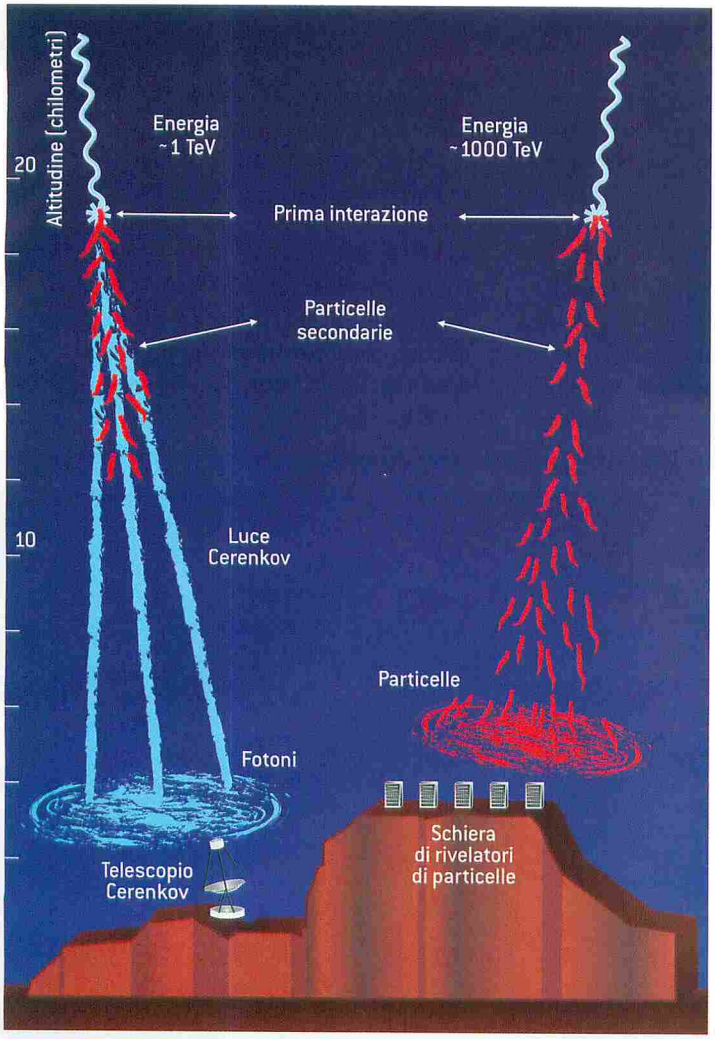
lite sono dell'ordine del centinaio di GeV. Il miglior rivelatore gamma su satellite finora lanciato, il rivelatore gamma Egret, operativo fra il 1995 e il 2000, ha scoperto un centinaio di sorgenti gamma di alta energia, fino a una decina di GeV.

La rivelazione dei fotoni gamma

Per esplorare le altissime energie, quelle oltre il centinaio di GeV, occorre dunque utilizzare strumenti al suolo, rivelando i prodotti dell'interazione dei raggi gamma con l'atmosfera.

Un raggio gamma proveniente dallo spazio interagisce con le molecole dell'atmosfera e si trasforma in una coppia elettrone-positrone. Queste particelle cariche nel loro cammino in aria emettono fotoni attraverso un meccanismo detto di *bremsstrahlung* (radiazione di frenamento). I gamma secondari si trasformano a loro volta in coppie elettrone-positrone e si viene così a formare un cascata di elettroni, positroni e gamma; questa cascata è detta sciame elettromagnetico. Le particelle che si for-

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/



Danilo Sossi, su indicazione degli autori

LA RIVELAZIONE DEI RAGGI GAMMA A TERRA può essere eseguita a bassa quota, misurando la luce Cerenkov prodotta dagli sciami, o ad alta quota usando rivelatori di particelle sensibili agli elettroni e ai positroni dello sciame. Sotto, sullo sfondo il telescopio Magic e in primo piano il suo gemello attualmente in costruzione.

Cortesia D. Dorner

mano nello sciame viaggiano nell'atmosfera a velocità confrontabili con la velocità della luce, e si sparpagliano lateralmente fino a distanze di qualche centinaio di metri. I meccanismi di produzione e sviluppo degli sciami sono ormai ben noti grazie soprattutto ai lavori di Bruno Rossi e della sua scuola.

Dallo spazio non arrivano solo fotoni gamma, ma anche, migliaia di volte più numerose, particelle sensibili all'interazione forte (gli adroni), come protoni e altri nuclei atomici carichi. Interagendo con i nuclei atomici nell'atmosfera, gli adroni possono produrre particelle cariche e neutre, come pioni e mesoni K, che a loro volta interagiscono. Si viene a formare pertanto uno sciame adronico non molto diverso dallo sciame elettromagnetico sopra descritto, a parte la maggior presenza di leptoni μ (analoghi agli elettroni ma di massa circa 200 volte maggiore), nonché la diversa distribuzione laterale e la densità delle particelle presenti.

Il numero di particelle cariche prodotte da un tipico sciame elettromagnetico di altissima energia ha un massimo a 5-10 chilometri di quota, ed è trascurabile al livello del mare. Pertanto se vogliamo osservare i raggi gamma con rivelatori di particelle sensibili agli elettroni e ai positroni dello sciame (tecnica degli *Extensive Air Shower detector*, EAS) bisogna collocare gli strumenti ad alta quota, con notevoli problemi logistici. Anche con questi sforzi, le soglie minime di energia rivelata dagli EAS sono piuttosto alte e la sensibilità alla scoperta di nuove sorgenti è limitata.

La tecnica che negli ultimi due-tre anni si è dimostrata vincente per l'astrofisica gamma è la tecnica IACT (*Imaging Air Cerenkov Telescope*), che sfrutta l'emissione di luce da parte delle particelle cariche in uno sciame. Negli sciami, sia elettromagnetici sia adronici, le particelle cariche possono viaggiare a velocità superiori a quella della luce in atmosfera (ricordiamo che questo non viola la teoria della relatività, in quanto la velocità della luce nell'atmosfera è c/n, dove n è l'indice di rifrazione ed è maggiore dell'unità). In questi casi emettono un lampo di luce, la luce Cerenkov (dal nome dello scopritore del fenomeno, premio Nobel nel 1958), che è l'analogo ottico del *bang* supersonico per le onde sonore. Il lampo è emesso in un cono di ampiezza di circa un grado rispetto alla direzione della particella che lo genera, e viaggia verso il suolo insieme alle altre particelle dello sciame: la luce è in gran parte visibile, e l'emissione è più intensa nella regione del blu.

I rivelatori IACT riflettono con la loro grande superficie ottica il debole lampo di luce Cerenkov su un sensore a matrice di fotomoltiplicatori posto nel piano focale del telescopio; quindi le informazioni sui singoli fotomoltiplicatori (pixel) che hanno ricevuto il segnale vengono digitalizzate. In questo modo il raggio gamma viene fotografato come se fosse una specie di stella cadente, il cui lampo dura appena 2 o 3 nanosecondi; l'immagine viene registrata su un sistema di computer e immagazzinata per l'analisi dei dati. La diversa geometria degli sciami elettromagnetici e adronici consente una classificazione su base statistica della natura della particella che ha generato il lampo di luce.

Le tecniche di analisi dei dati ancora oggi usate nei telescopi Cerenkov furono introdotte dai fisici del telescopio Whipple, in Arizona, il telescopio di 10 metri di diametro che nel 1989 scoprì la prima sorgente gamma nella Nebulosa del Granchio, tuttora usata come «candela» standard per l'astrofisica gamma. La Nebulosa del Granchio – resto di una supernova la cui esplosione nel 1054 fu registrata da astronomi cinesi e indiani – è la

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

MAGIC E LA RETE DEI SATELLITI SCIENTIFICI

Una dozzina di satelliti scientifici in orbita attorno alla Terra raccoglie dati sulle emissioni di fotoni, in particolare nella banda dei raggi X. Tra questi Chandra, Integral, Swift, le cui osservazioni hanno prodotto centinaia di articoli scientifici che hanno influenzato notevolmente l'evoluzione dell'astrofisica ad alte energie. Alcuni di questi rivelatori sono dotati di strumenti sensibili a fenomeni transienti come la presenza di eventi catastrofici, per esempio i lampi di raggi gamma.

Con cadenza all'incirca giornaliera, questi lampi producono, per intervalli di tempo in generale dell'ordine del secondo, un'energia in raggi gamma anche superiore alla somma di tutte le altre sorgenti gamma dell'universo. La rete di satelliti GCN (GRB Coordinates Network) comunica in tempo reale ai rivelatori consorziati la presenza di lampi di raggi gamma; grazie a questi messaggi, già tre volte in venti mesi Magic è riuscito a puntare una sorgente gamma durante l'esplosione primaria.

Ma non ci sono solo i lampi di raggi gamma. Sono state rivelate brusche variazioni dell'accrescimento di buchi neri al centro di galassie che producono brillamenti intensissimi della durata di pochi minuti; e questi eventi sono stati misurati contemporaneamente da Magic e dai rivelatori installati sui satelliti a energie complementari.

sorgente gamma stabile più luminosa nella Galassia. In seguito Whipple scoprì due sorgenti gamma extragalattiche, i nuclei galattici attivi Markarian 421 e Markarian 501.

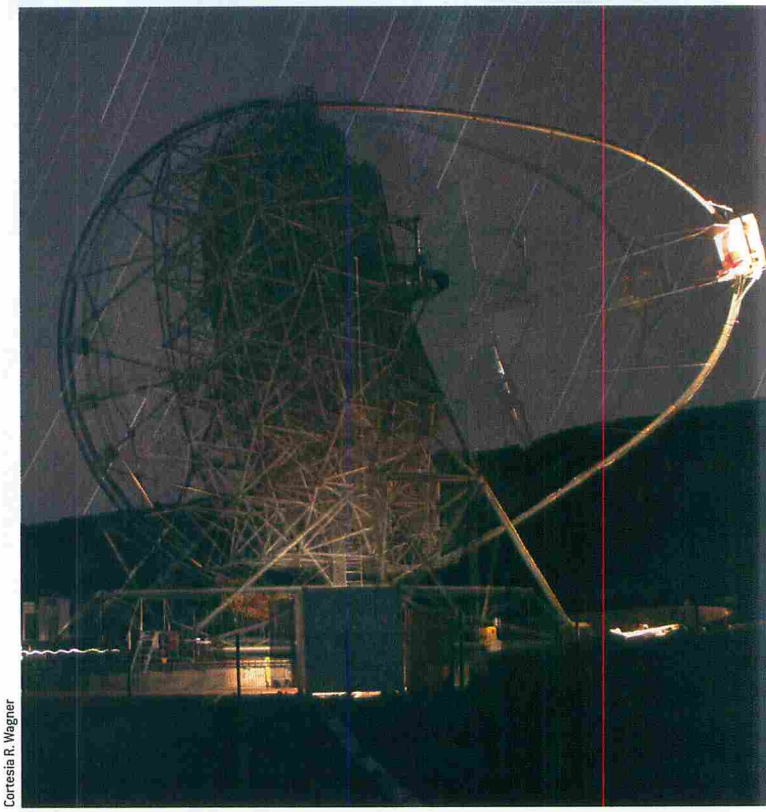
Gli eccitanti risultati ottenuti in astrofisica gamma hanno spinto la comunità scientifica internazionale a nuovi progetti di apparati al suolo per abbassare la soglia in energia dei gamma rivelati e aumentare la sensibilità. Lo sforzo è complementare a quello profuso per realizzare rivelatori gamma su satellite a soglia energetica sempre più alta, e che porterà al prossimo lancio dei satelliti Agile e Glast (*si veda il box qui sopra*).

Attualmente operano quattro grandi rivelatori IACT, strutturalmente simili, chiamati nel gergo della comunità «i grandi 4»: Magic e Veritas nell'emisfero nord (rispettivamente alle Canarie e in Arizona), Hess e Cangaroo (in Namibia e in Australia) nell'emisfero sud. I quattro rivelatori sono operati da collaborazioni internazionali di un centinaio di persone ciascuna.

I raggi gamma visti da Magic

Il telescopio Magic (Major Atmospheric Gamma Imaging Cerenkov) si distingue dagli altri, oltre che per essere il più grande, per la leggerezza della struttura meccanica in fibra di carbonio, che gli consente di ruotare di 180 gradi in una ventina di secondi reagendo prontamente agli allarmi relativi a *flare* e fenomeni transienti. Gli specchi a forma quadrata, con raggio di curvatura variabile per dare un profilo parabolico alla superficie riflettente, sono di alluminio lavorato con punta di diamante per essere speculari: l'apporto tecnologico italiano è stato fondamentale. Un'altra caratteristica unica di Magic è il controllo attivo degli specchi. Questi sono montati su pannelli al centro dei quali è collocato un laser: quando il telescopio si muove i laser «riaggiustano» il puntamento e compensano eventuali deformazioni facendo una messa a fuoco automatica in un tempo breve.

Il telescopio Magic è anche un banco di prova per produrre sistemi innovativi di acquisizione di dati. L'utilità di questi ultimi si estende al di fuori delle ricerche in fisica, verso campi interdisciplinari e più strettamente tecnologici. In particolare i sistemi di acquisizione dati prodotti da Magic stanno contribuendo alla soluzione di problemi di riconoscimento di immagini che accomunano le tematiche dei telescopi Cerenkov ai rivelatori in generale e su satellite (come Glast, prossimo al lancio) e a branche diverse della fisica, quale la fisica medica.



Cortesia R. Wagner

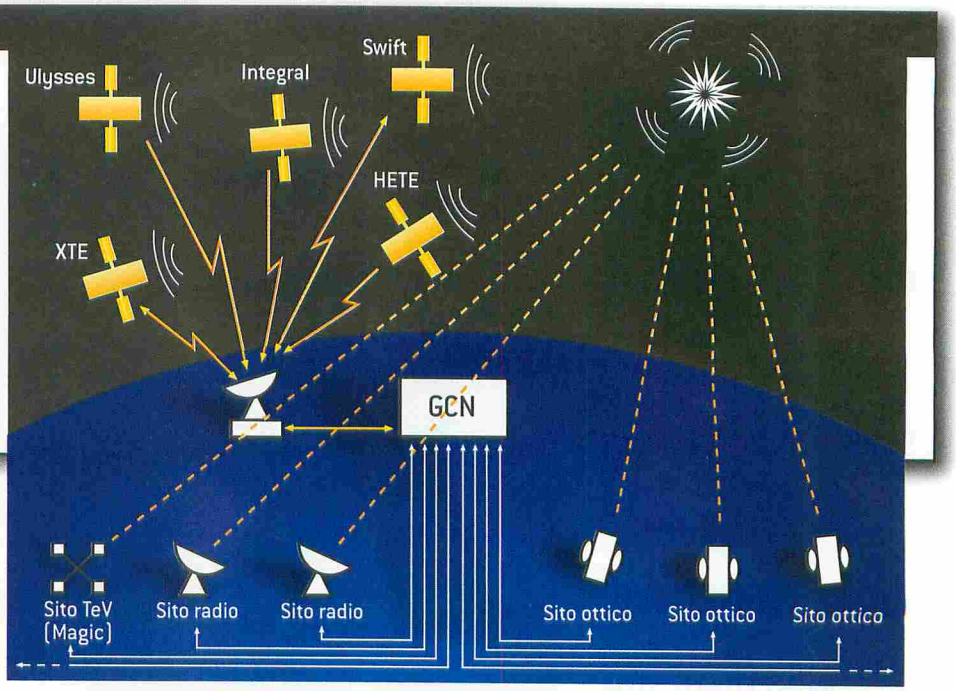
Un salto nel futuro

Gli strumenti che si sono resi disponibili negli ultimi anni hanno dimostrato di avere sensibilità tale da poter rivelare molte nuove sorgenti: estrapolando i risultati attuali, si immagina di arrivare a rivelare un centinaio di sorgenti gamma nell'universo entro il 2010. Con strumenti dieci volte più sensibili degli attuali si potrebbe arrivare oltre il migliaio di sorgenti.

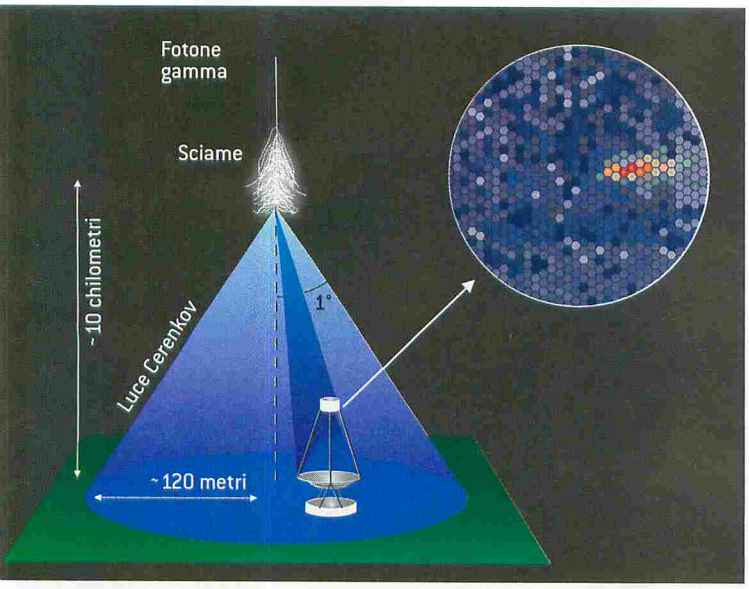
Un secondo telescopio Magic è in costruzione a circa 80 metri di distanza dal primo per consentire una visione stereoscopica; l'Istituto nazionale di fisica nucleare (INFN) e gli enti italiani consorziati sono responsabili dell'ottica (per la quale verrà usata una tecnologia ancora più avanzata rispetto a quella del primo telescopio, sempre legata all'industria italiana) e di parte dell'elettronica e del sistema di acquisizione e trattamento dati. Questo secondo telescopio consentirà al nuovo strumento, chiamato Ma-

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

Nel prossimo futuro, probabilmente già a partire da quest'anno, gli strumenti esistenti saranno affiancati da due nuovi satelliti specializzati nella rivelazione di raggi gamma a energie dell'ordine del GeV: uno tutto italiano (Agile), e l'altro (Glast) costruito da una collaborazione internazionale che comprende Stati Uniti, Italia, Francia, Giappone, Svezia, e il cui lancio è gestito dalla NASA.



IL CONO DI LUCE CERENKOV (*sotto*) prodotto da un raggio gamma e la sua immagine nella camera focale di un telescopio IACT, dello stesso tipo di Magic. A fronte, un'altra immagine di Magic sullo sfondo del moto apparente delle stelle nel cielo notturno.



Danilo Sossi, su indicazione degli autori [2]

gic2, di raddoppiare la sensibilità e migliorare la precisione fino a consentire la risoluzione di particolari all'interno degli emettitori gamma galattici. È particolarmente urgente che il finanziamento di questo telescopio, il cui progetto è già stato approvato, sia presto completato, per terminare la costruzione entro il 2007 e potersi giovare della sinergia con i satelliti gamma.

Molto altro si muove nell'astrofisica gamma per i prossimi anni: oltre all'atteso lancio dei satelliti Agile e Glast, il principale strumento complementare a Magic nell'emisfero australe, Hess, si doterà di un telescopio di 28 metri di diametro che potrebbe essere operativo alla fine del 2008. In seguito le collaborazioni Magic e Hess si uniranno per costruire due gigantesche matrici di telescopi, chiamate Cerenkov Telescope Array (CTA), la cui sensibilità dovrebbe superare di oltre un ordine di grandezza quella di Magic e di Hess. Per questa nuova impresa la tecnologia scelta sembra per ora simile a quella di Magic e Hess, replicata su decine di strumenti. C'è anche la speranza di introdurre nuove tecnologie che potrebbero cambiare il concetto stesso di telescopio, e ancora una volta l'Italia è all'avanguardia nella proposta di tali tecnologie.

Negli anni successivi al 2010-2015 le informazioni raccolte dai telescopi gamma potrebbero aprire la strada ai grandi rivelatori di neutrini cosmici (Icecube al Polo Sud e un rivelatore marino, in costruzione nel Mediterraneo, per il quale l'Italia ha proposto uno dei progetti candidati, chiamato Nemo, vicino a Capo Passero) e di onde gravitazionali (il sistema di satelliti chiamato Lisa).

Le sorprese che potrà ancora regalare l'universo nell'osservazione di questi fenomeni sono il premio di cui potranno godere gli scienziati che con pazienza e sempre maggior competenza investiranno nella ricerca in questo ramo all'incrocio tra l'astrofisica e la fisica delle particelle. È proprio la potenzialità di scoperta di questo nuovo settore che sta attirando un numero sempre maggiore di giovani scienziati, e che porta allo sviluppo di nuove idee, alla realizzazione di nuove tecnologie e all'individuazione di nuovi misteri. LS

PER APPROFONDIRE

ROSSI B., *I raggi cosmici*, Einaudi, Torino, 1971.

GAISSER T., *Cosmic Rays and Particle Physics*, Cambridge University Press, 1990.

SCHOENFELDER V., *The Universe in Gamma Rays*, Springer, 2001.

WEEKES T., *Very High Energy Gamma-Rays*, IOP, 2003.

PERKINS D., *Particle Astrophysics*, Oxford University Press, 2003.

HOFFMAN C.M., SINNIS C., FLEURY P. e PUNCH M., *Gamma-ray astronomy at high energies*, «Review of Modern Physics», Vol. 71, n. 4, 1999.

VITALE S., *Dalle onde ai buchi neri*, «Le Scienze» n. 428, marzo 2004.

CARAVEO P. e TAGLIAFERRI G., *Le più potenti esplosioni del cosmo*, «Le Scienze» n. 452, marzo 2006.

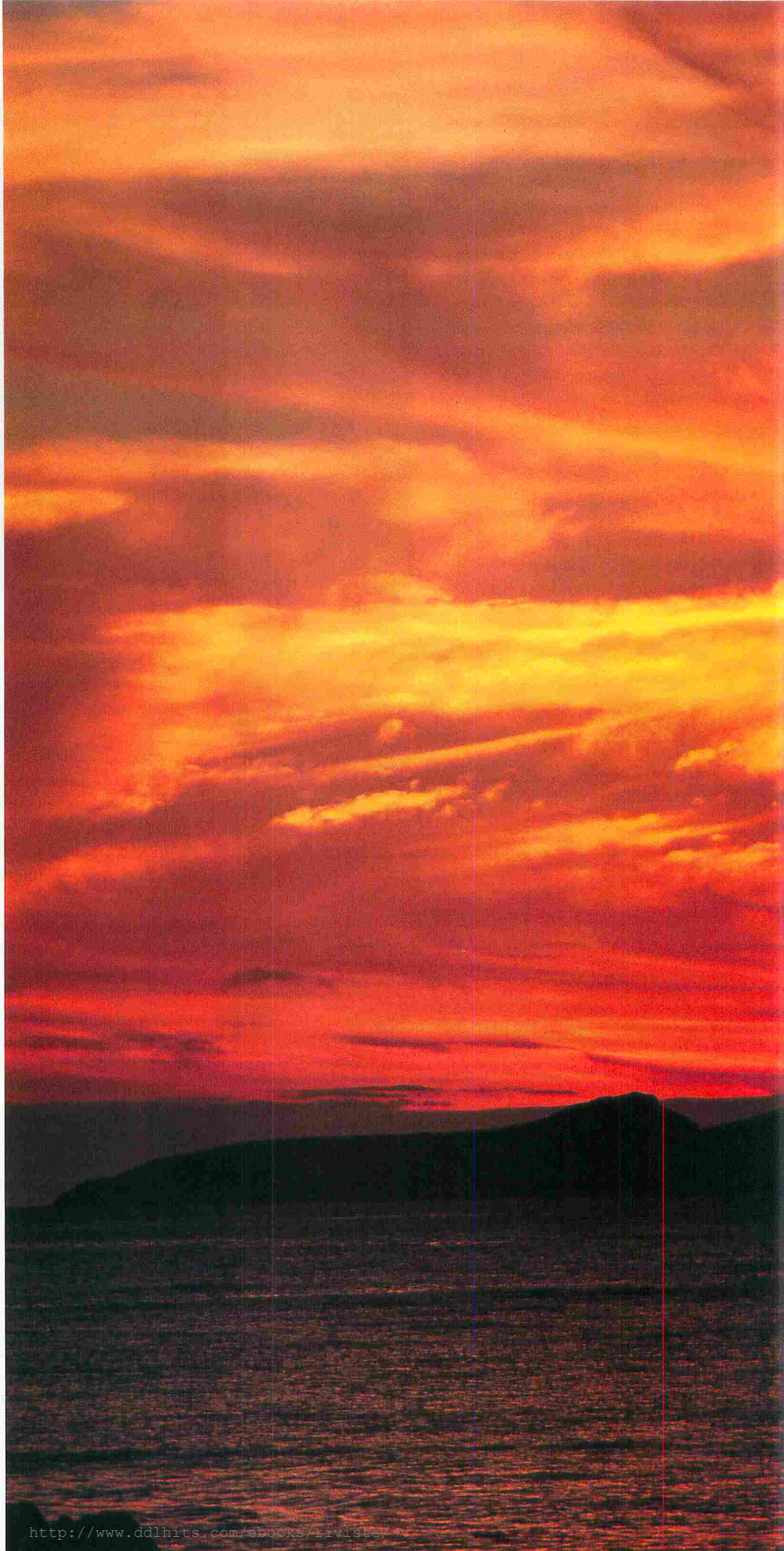
Sito web del telescopio Magic: http://magic.fisica.uniud.it/.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

Le popolazioni di iguane delle Galápagos, decimate fino agli anni settanta, stanno rifiorendo. Ma con quali conseguenze sulla diversità genetica?

Velisti per CASO

testo e foto di Gabriele Gentile



TRAMONTO VISTO DALLA SPIAGGIA di Cerro Dragón, nella parte settentrionale dell'isola di Santa Cruz. In quest'area viveva un tempo una grande popolazione di iguane terrestri della specie *Conolophus subcristatus*, quasi estintasi negli anni settanta, il cui recupero è uno degli obiettivi del progetto diretto da Gabriele Gentile. A fronte, due maschi adulti di iguana terrestre si affrontano. Tra giugno e luglio, durante l'epoca degli accoppiamenti, è frequente incontrare maschi adulti in combattimento per la difesa del proprio territorio.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

Le iguane di Cerro Dragón

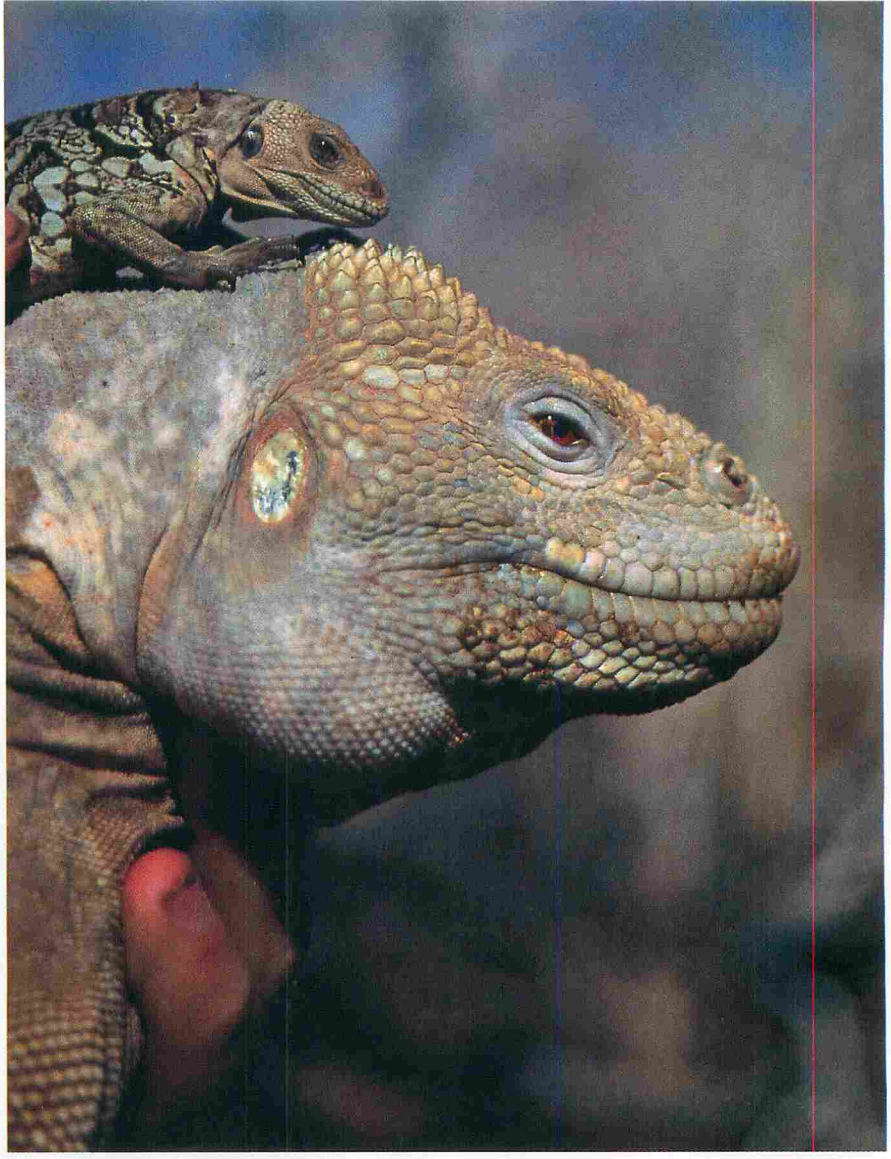
Siamo arrivati alle Galápagos il 2 dicembre, e dopo un paio di giorni spesi in preparativi siamo partiti alla volta di Cerro Dragón, un sito di rara bellezza, situato a nord dell'isola Santa Cruz, la più centrale e la più popolata dell'intero arcipelago. In quell'area prosperava una popolazione di iguane terrestri (*Conolophus subcristatus*), un tempo molto numerosa, ma che purtroppo è arrivata fino quasi all'estinzione verso la metà degli anni settanta. È qui che abbiamo svolto gran parte della nostra attività, durante questo viaggio.

Finora nelle isole Galápagos sono state riconosciute due specie di iguana terrestre: *Conolophus pallidus* e *C. subcristatus*, entrambe endemiche dell'arcipelago. La prima si trova soltanto nell'isola Santa Fe, mentre la seconda popola le isole Fernandina, Isabela, Santa Cruz, Plaza Sur, Seymour Norte e Baltra. Tutte le popolazioni di iguana terrestre (a eccezione forse delle popolazioni di Fernandina e Plaza Sur) subiscono, o hanno subito in passato, il peso di forti fattori di disturbo. Le popolazioni superstiti della specie *C. subcristatus* sono fortemente minacciate dalla presenza di cani, gatti, ratti, maiali, asini e capre introdotti dall'uomo ed estranei alla fauna autoctona delle Galápagos. Queste

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

specie hanno un enorme impatto sulle popolazioni di iguane terrestri – ma anche di iguane marine, tartarughe e molte specie di uccelli – sia attraverso la competizione diretta per le fonti alimentari sia attraverso la predazione di adulti, piccoli e uova.

Tra il 1975 e il 1977 cani inselvatichiti eliminarono quasi tutte le iguane terrestri nell'area nordoccidentale dell'isola di Santa Cruz (dove si trova Cerro Dragón) e nell'area di Bahia Cartago, a Isabela. Fu invece una combinazione di cause a determinare l'estinzione avvenuta a Baltra (*poi* ripopolata) e Santiago. In particolare su quest'ultima esisteva una popolazione molto numerosa, di cui lo stesso Darwin parla nel suo diario di viaggio: «... *When we were left at James* [Santiago], *we could not for some time find a spot free from their burrows on which to pitch our single tent*». Per questi motivi, le iguane terrestri delle Galápagos sono oggi inserite nella lista delle specie minacciate d'estinzione della World Conservation Union (IUCN).



Programmi di ripopolamento

Per contrastare la forte diminuzione della dimensione delle popolazioni superstiti, il Parco nazionale delle Isole Galápagos (PNG) e la Stazione di ricerca Charles Darwin (CDRS) hanno da qualche anno iniziato un programma di conservazione che mira a tre obiettivi: l'eliminazione delle specie esotiche; il rinsanguamento delle popolazioni minacciate; la reintroduzione delle iguane terrestri in aree o isole ove, un tempo, erano presenti.

Oltre alla difficoltà oggettiva di eliminare le specie esotiche dall'arcipelago, i maggiori interrogativi circa il successo del programma erano inizialmente rappresentati dalle possibili difficoltà associate all'allevamento e riproduzione in cattività e dal possibile scarso successo riproduttivo degli individui reintrodotti. Attraverso la ricerca e la sperimentazione, questi problemi sono stati risolti, almeno in parte. Infatti, sebbene il programma di eliminazione delle specie esotiche dannose non sia ancora stato portato a compimento in tutte le isole, la riproduzione in cattività di individui catturati da adulti è stata ottenuta con successo tra il 1977 e il 1981. Alcune popolazioni di iguana hanno risposto bene al programma di reintroduzione: a Santa Cruz, Isabela e Baltra, oltre il 40 per cento degli individui reintrodotti (più di 750 fino a oggi) è sopravvissuto fino all'età adulta.

Questi programmi non hanno però posto attenzione a un aspetto potenzialmente in grado di determinare il successo a lungo termine degli sforzi di conservazione: il mantenimento della variabilità genetica delle popolazioni. Malgrado il tema sia al centro di un dibattito tra i biologi della conservazione, è opinione diffusa che una popolazione possa mantenere alte le probabilità di sopravvivenza in un ambiente che cambia se la sua variabilità genetica rimane alta nelle generazioni. Garantire che tutti gli individui contribuiscano in modo uniforme alle generazioni successive è un modo per impedire che la dimensione della popolazione si riduca.

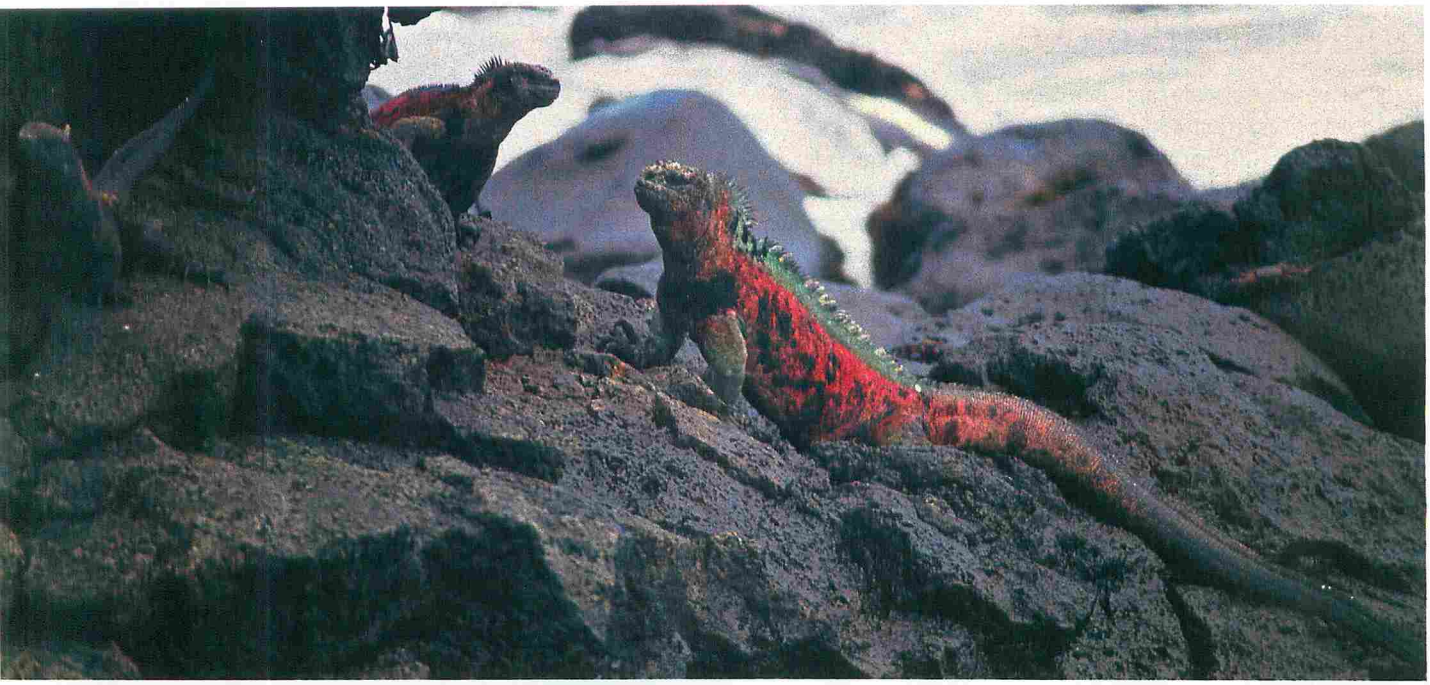
In quest'ottica diviene quindi importante capire se il successo riproduttivo è distribuito in modo omogeneo. Questa informazione può essere conseguita con l'uso di tecniche di genetica molecolare e genetica di popolazione. Come infatti sottolineato da molta letteratura specializzata, è sempre più chiaro come da dati genetici sia possibile estrarre una considerevole quantità di informazione circa le cause storiche e demografiche dell'evoluzione delle popolazioni naturali.

Per esempio riusciamo a stimare la dimensione di una popolazione e capire se essa è stabile nel tempo o se è nata recentemente da pochi individui fondatori. Inoltre possiamo scoprire se una popolazione è arrivata sull'orlo dell'estinzione e quando. Infine, in organismi come l'iguana terrestre, in cui la femmina in natura riceve inseminazioni da più maschi, l'analisi genetica della prole permette di capire se si tratta di figli di uno o più padri.

Missione iguana

La nostra avventura alle Galápagos è cominciata nel 2003, quando ho ottenuto un finanziamento del Ministero dell'Istru-

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/



DUE GROSSI MASCHI DI IGUANA MARINA (*sopra*) si osservano. La colorazione rossa è presente solo in alcune popolazioni. A fronte, un piccolo di 2-3 settimane della specie *Conolophus pallidus* (presente solo sull'isola di Santa Fe) sul dorso di un maschio adulto. A destra, Gabriele Gentile solleva un grosso maschio di *C. subcristatus* (*sotto*). Di ogni individuo vengono rilevate misure corporee e peso. Ogni esemplare viene marcato per seguire nel tempo il tasso di crescita e il peso.

zione, dell'Università e della Ricerca che mi ha permesso – presso l'Università di Roma Tor Vergata – di dare il via a un progetto di genetica della conservazione in collaborazione con Michel Milinkovitch (della Libera Università di Bruxelles), il PNG e la CDRS.

Da allora, abbiamo compiuto numerose missioni alle Galápagos per studiare tutte le popolazioni esistenti di iguana terrestre e parecchi dati sono stati raccolti grazie alla partecipazione di molte persone. Ora sappiamo che le popolazioni di iguane terrestri delle varie isole sono geneticamente diverse l'una dall'altra, e che l'origine di questa diversificazione è databile intorno a un milione di anni fa.

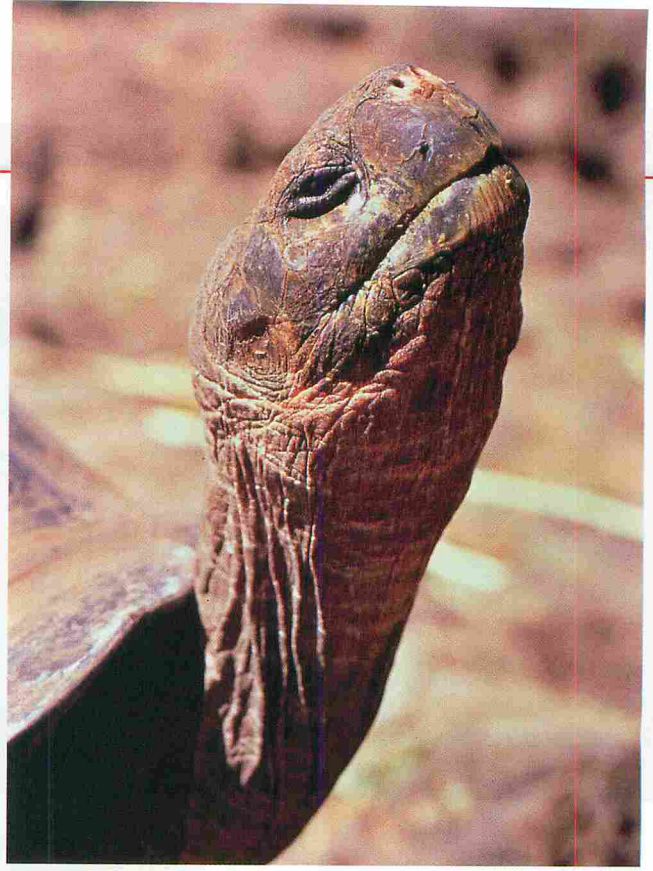
Questo differenziamento appare molto recente se confrontato con il momento in cui le iguane terrestri (*Conolophus*) e marine (*Amblyrhynchus*) hanno iniziato a divergere a partire dal loro comune antenato, almeno 10 milioni di anni fa. Non possiamo non soffermarci a riflettere sul fatto che tra il momento dell'origine della linea evolutiva delle iguane terrestri e la loro ultima radiazione nell'arcipelago, sono passati almeno nove milioni di anni di cui non sappiamo nulla. Quindi, la storia evolutiva delle iguane terrestri delle Galápagos è *in primis* una storia di estinzioni non documentabili, visto che i fossili più vecchi di queste isole non sono più antichi di due milioni di anni.

In questo viaggio, accompagnati da Patrizio Roversi e dalla troupe televisiva di *Evoluti per caso*, il nostro lavoro di campo si è soffermato in particolare sull'isola di Santa Cruz. L'interesse per questa popolazione sta nel fatto che, dopo la decimazione avvenuta negli anni settanta, il numero di individui adulti da cui si ripartì era molto basso: 58. Una cifra troppo esigua per escludere una sostanziale perdita di variabilità genetica, malgrado negli anni la popolazione abbia recuperato e ora sia tornata intorno ai 400-500 esemplari.

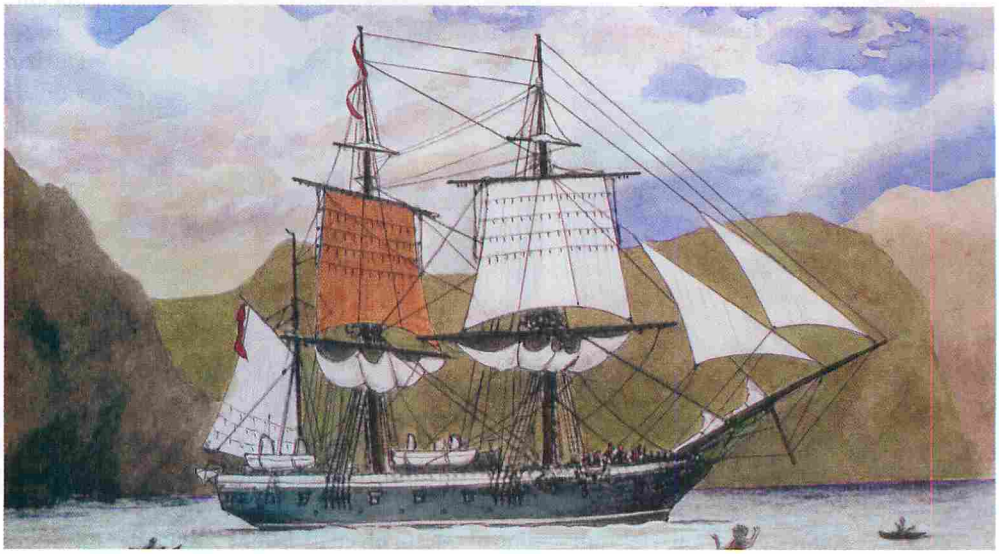
I nostri dati preliminari, risultato delle ricerche di Anna Fabiani, dell'Università di Roma Tor Vergata, che ha focalizzato la sua attenzione proprio su questa popolazione, suggeriscono che finora, malgrado non vi sia stata una grave perdita di variabilità genetica, gli accoppiamenti tra gli individui non siano stati casuali. In futuro bisognerà quindi adottare opportune misure per evitare la formazione di gruppi con elevato livello di inincrocio, che potrebbe mettere a rischio la vitalità della popolazione.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

I mangiatori di prove



UNA TARTARUGA GIGANTE (*Geochelone nigra microphyes*), una delle specie più rappresentative delle Galápagos e tra quelle che più hanno sofferto la presenza dell'uomo. A fronte, una fregata minore (*Fregata minor*) a Isla Genovesa, dove ci sono le colonie più numerose di questa specie. Sotto, una rappresentazione del *Beagle*.



SPL/Grazia Neri

Per un appassionato cacciatore come Darwin le Galápagos devono essere state di una noia mortale. Uccelli e altri animali, ignari di cosa potesse essere un predatore da quando i loro antenati avevano colonizzato l'arcipelago, si lasciavano tranquillamente catturare e divorare. Il brivido dell'appostamento, l'ansia dell'attesa, la copertura degli odori, dei rumori e delle ombre: tutto inutile. Potevi prendere un rettile per la coda o accarezzare il collo di un falco con la canna del fucile. Solo un cacciatore perversamente sleale ci avrebbe provato gusto. Il capitano FitzRoy prediligeva la carne bianca di iguana terrestre – di cui fece raccogliere sull'isola di Albemarle (Isabela) decine di esemplari per mangiarseli a bordo – un lucertolone con bizzarre creste frastagliate e multicolori che per il resto apparve oltremodo ripugnante e goffo all'intera comitiva.

Le stragi a mani basse di animali indifesi avevano però creato già allora alcuni problemi di sostenibilità ambientale. Diciotto testuggini giganti furono caricate a bordo del *Beagle*, come rifornimento di carne fresca per la traversata oceanica. Era una pratica corrente per balenieri e bucanieri di passaggio. Il governatore della colonia penale di stanza sull'isola di Charles (Floreana), l'inglese Nicholas Lawson, sfamava i suoi uomini, e i circa 200 deportati in esilio posti sotto la sua sorveglianza, principalmente con le carni dell'imponente rettile che vagava per i sentieri delle isole triturando cactus. Narrava di averne catturati più di 200 al giorno, un tempo, ma ora lamentava il fatto che la preziosa risorsa di cibo stesse cominciando a scarseggiare. Inaugurando una tradizione di fosche previsioni di estinzione, poi confermate, l'ufficiale disse ai visitatori che con quel ritmo di consumo le testuggini si sarebbero esaurite nel giro di vent'anni. Si sbagliò di poco: sulla sua isola scomparvero alla fine dell'Ottocento. Le corazze vuote erano disseminate ovunque, fungendo talvolta tristemente da vaso da fiori.

Un indizio avrebbe potuto attrarre Darwin riguardo alle testuggini: le differenze nella conformazione dello scudo e del collo da isola a isola. Gli abitanti erano certi che ogni isola fosse rappresentata da un tipo particolare di testuggine, riconoscibile da alcuni tratti distintivi esterni «lievi e sistematici», tanto che Lawson si vantava di poter indovinare la provenienza di ogni animale con una sola occhiata.

Il caso volle però che Darwin, pur incuriosito da questi racconti, comparasse le due forme forse più simili, quella dell'isola di Chatham (San Cristóbal), la prima toccata dal Beagle in ordine di tempo, e quella dell'isola più settentrionale di James (Santiago), dove l'equipaggio ne cucinò alcune friggendone la carne nel loro stesso grasso giallognolo secondo un'antica ricetta piratesca. Sarà stato per l'aver scelto la coppia di comparazione sbagliata, o per la tendenza a mangiarsi voracemente per cena le prove empiriche migliori dell'evoluzione biologica, fatto sta che Darwin si convinse del carattere alquanto esagerato delle dicerie riguardanti le differenze fra i rettili da isola a isola.

Il tema centrale delle sue osservazioni era capire se la flora e la fauna dell'arcipelago appartenessero o meno al «centro di

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

creazione» rappresentato dal continente sudamericano. Tuttavia, gli esemplari raccolti sotto il capitolo "Galápagos" continuarono per lungo tempo a sembrargli piuttosto confusi.

Ci vorranno gli occhi dei migliori ornitologi, botanici, zoologi e anatomisti inglesi per fare chiarezza e trasformare un'accozzaglia di reperti disordinati in un banco di prova significativo per una nuova teoria. Quando la prua del *Beagle* lasciò l'arcipelago, il 20 ottobre 1835, puntando risolutamente verso Tahiti, Darwin aveva con sé più domande che risposte. Si era fatto l'idea che l'arcipelago fosse stato colonizzato sicuramente da forme sudamericane, ma restava da spiegare nel dettaglio l'interessante diversità degli uccelli mimo. Ripensando alle piante e agli animali così diversi da quelli di altri arcipelaghi, la proliferante diversità locale delle specie lo convinceva sempre più dell'inadeguatezza dell'ipotesi creazionista. Perché un Dio onnipotente avrebbe dovuto rincorrere una per una la creazione di specie così diverse in ogni angolo del mondo? Come pensare a un intervento divino per ogni bizzarro coleottero, per ogni vile mollusco?

Nel frattempo – mentre ripensa a quanto ha osservato e si accorge di quale distanza separa la confutazione di una vecchia idea fallimentare dalla costruzione di una teoria alternativa – gli abitanti non umani dell'arcipelago vulcanico gli fanno compagnia sotto forma sia di esemplari tassonomici sia di cibo quotidiano.

Per quanto concerne la prima categoria, ha catturato uccelli mimo, fringuelli in ordine sparso, uno scricciolo, alcuni itteri e frosoni. Ha raccolto tutte le piante da fiore che ha trovato, per darle a un amico e maestro, il botanico John Stevens Henslow. Riguardo alla seconda categoria, cioè le provviste per il Pacifico, oltre che di ortaggi e maiali il *Beagle* pullula di iguane terrestri, di tartarughe da fare in brodo, di alcune decine di testuggini e dei loro prodotti derivati (soprattutto il pregiato e limpido olio).

Fra queste ultime Darwin decide di salvare almeno due giovani esemplari, uno per sé e uno per il suo aiutante, Syms Covington. I cuccioli sbarcheranno in Inghilterra nel 1836 e la loro proverbiale longevità farà sì che rimarranno a lungo, nel Novecento, gli ultimi esseri in vita ad aver convissuto fisicamente con il grande naturalista inglese. Le altre testuggini, a una a una, terminano la loro esistenza in pentola o sotto sale e le preziose prove evoluzionistiche racchiuse nelle diverse conformazioni della loro corazza finiscono in fondo all'oceano, gettate fuori bordo dal cuoco sotto lo sguardo indifferente dell'equipaggio, Darwin compreso.

Del resto, nel diario di viaggio di quei giorni l'aggettivo che più viene usato per descrivere il mondo giovane, selvaggio e strano delle Galápagos è «inutile». Avrà tempo per cambiare completamente idea.

TELMO PIEVANI

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

Un paradiso in pericolo

Le isole Galápagos sono oggetto di gravi fattori di disturbo, che hanno causato e causano alterazioni dell'ambiente, e hanno già provocato la scomparsa di intere popolazioni di organismi in diverse aree dell'arcipelago. Malgrado nel periodo di *el Niño* le popolazioni di diverse specie marine subiscano una consistente riduzione e malgrado la condizione di insularità esponga molte specie terrestri a fluttuazioni della dimensione di popolazione, il rischio maggiore per la stabilità e la conservazione dell'arcipelago è rappresentato direttamente o indirettamente dall'uomo.

Dall'anno della loro scoperta, il 1535, le Galápagos sono state visitate con regolarità da pirati, bucanieri e balenieri che vi si fermavano per far scorta di acqua e cibo o per trovarvi riparo. L'uomo ha inoltre portato piante e animali esotici per l'arcipelago: innocui alle nostre latitudini, ma dannosissimi alle Galápagos. Cani, gatti e ratti sono esplosi demograficamente, trovando condizioni favorevoli per l'assenza di predatori naturali e per il carattere mite della fauna autoctona. Specie uniche ed estremamente rappresentative, come la tartaruga gigante o le iguane terrestri, sono state oggetto di predazione a livello di uova e piccoli e, nel caso delle iguane, anche degli adulti. Il danno naturalistico è enorme: nel solo caso delle tartarughe giganti, molte popolazioni di sottospecie tipiche di diverse isole sono state drasticamente ridotte e alcune si sono addirittura estinte.

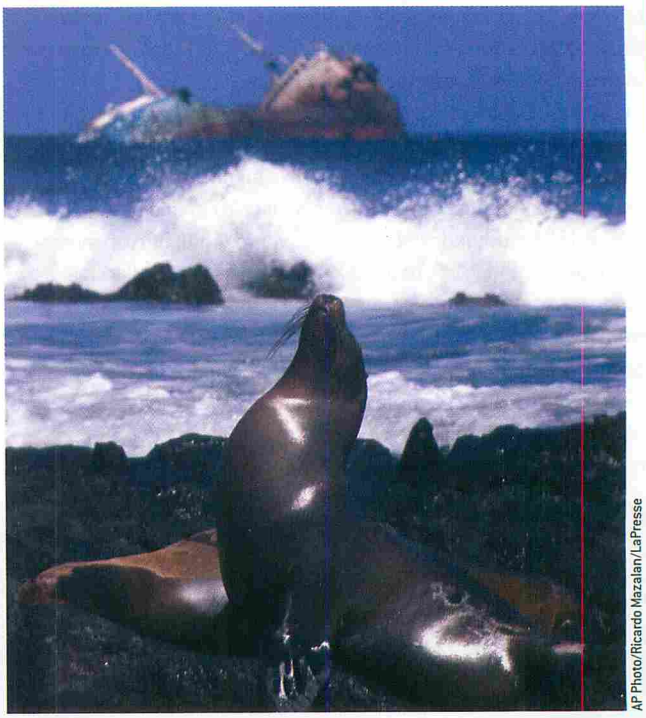
Altre specie non autoctone, come l'asino, il maiale e la capra, competono direttamente per il cibo con le specie autoctone erbivore e, vista la loro voracità e prolificità, hanno alterato in modo definitivo l'ambiente in diverse aree, letteralmente divorando la vegetazione.

L'uomo stesso continua a contribuire al disturbo dell'arcipelago, con flotte di pescherecci che praticano un'intensa attività di impoverimento dei fondali. Il miraggio di un miglioramento del tenore di vita continua ad attrarre persone dal continente, a dispetto dei tardivi limiti all'immigrazione posti dal Governo dell'Ecuador, e la crescita demografica impone uno sviluppo che avviene a danno delle isole. Nuove costruzioni appaiono ogni anno in aree ove la pressione antropica è già molto alta. Si stima che la popolazione umana residente alle Galápagos sia intorno ai 30.000 abitanti, ma in realtà il numero di persone presenti è almeno cinque volte più alto. Centinaia di taxi attraversano giorno e notte le strade del villaggio di Puerto Ayora (Santa Cruz). Il tempo medio di attesa è circa dieci secondi. La richiesta di olio combustibile per alimentare imbarcazioni e automobili e generare corrente è molto alta. Il disastro del cargo Jessica, che nel gennaio 2001 riversò nelle acque delle Galápagos oltre 800.000 litri di carburante destinato alle isole, può ripetersi in qualunque momento.

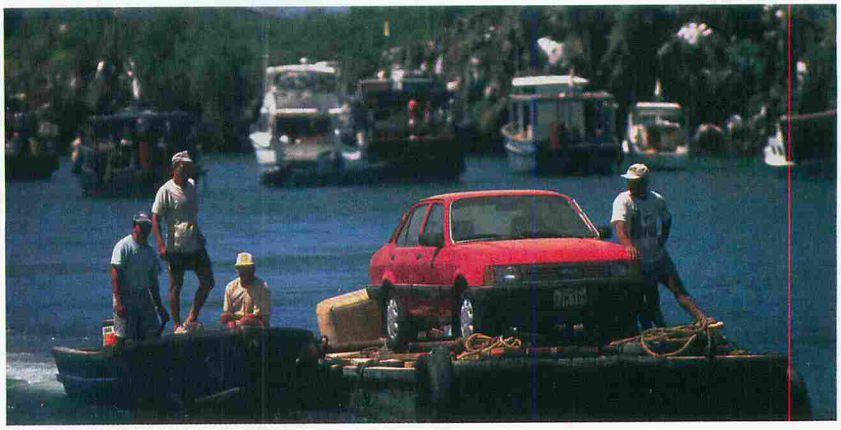
Anche il turismo comincia a essere un problema. A Villamil, un piccolo villaggio di pescatori nel sud di Isabela, il sistema economico si sta spostando dalla pesca al turismo, il che accelererà il deterioramento dell'isola. In un recente rapporto della Fondazione Darwin si legge che il boom turistico degli ultimi dieci anni ha generato quattro tendenze negative importanti: il rapido aumento della popolazione umana (che cresce a un tasso del 6-7 per cento all'anno); il rapido aumento del tasso di introduzione di specie alloctone; il rapido aumento della domanda per l'uso di risorse locali; l'impoverimento delle risorse marine.

A causa di una generale mancanza di attenzione da parte del Governo dell'Ecuador, l'UNESCO, che nel 1979 aveva elevato le Galápagos al rango di Riserva della Biosfera, ha già effettuato due avvertimenti ufficiali. Il terzo comporterà la cancellazione dell'arcipelago dalla lista delle Riserve della Biosfera.

L'evoluzione biologica ha i suoi luoghi simbolo. Le Galápagos sono uno di questi, ma il loro destino non è roseo.



AP Photo/Ricardo Mazalan/LaPresse



Stuart Franklin/Magnum Photos/Contrasto

IL CARGO JESSICA (*sullo sfondo*) si è arenato al largo delle Galápagos nel gennaio 2001, riversando in mare oltre 800.000 litri di carburante. Sotto, un'auto traghettata nel villaggio di Puerto Ayora.

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

IL CORMORANO DELLE GALÁPAGOS (*Nannopterum arrisi*) è l'unico, della ventina di specie di cormorani esistenti, ad aver perso la capacità di volare. Sopra, un granchio *Grapsus grapsus*, chiamato *sayapa* dalle popolazioni locali.

Tra turisti e pescatori

Un altro elemento di interesse per la popolazione di Cerro Dragón è nel fatto che il sito è frequentato giornalmente da molti turisti. Negli ultimi dieci anni, il turismo alle Galápagos è aumentato enormemente, e, malgrado sia una fonte importante per il sostentamento economico del Parco nazionale, comincia a rappresentare una sorgente di impatto non trascurabile. Vi sono numerosi indizi che il turismo può essere causa di stress a medio termine nelle popolazioni selvatiche esposte.

Martin Wikelski, della Princeton University, e collaboratori hanno messo in luce che un elevato, costante stato di stress può determinare, nelle iguane marine, un abbassamento di efficienza della messa in atto di strategie di difesa contro i predatori. Lo stress inoltre può diminuire l'efficacia della risposta immunitaria, il cui rapido manifestarsi è invece cruciale per combattere l'esposizione a vecchi e nuovi patogeni. Il nostro progetto si sta muovendo anche in quella direzione.

Dal 2006, il nostro programma di conservazione, basato originariamente su un approccio di genetica molecolare, sta sviluppando una visione multidisciplinare con l'integrazione di dati etologici, parassitologici, virologici, genetici, endocrinologici, biochimici e microbiologici. Per esempio, grazie alla collaborazione con Cristina Thaller e Luciana Migliore, dell'Università di Roma Tor Vergata, abbiamo scoperto che nell'isola di Santa Fe, l'unica popolata dalla specie di iguana terrestre *C. pallidus*, vi sono iguane che nel loro microbiota intestinale presentano batteri che mostrano resistenze ad antibiotici di sintesi (cioè non noti in natura).

Le iguane che presentano queste resistenze sono state catturate in un'area dell'isola (disabitata) frequentata da pescatori, i quali attraverso le loro feci veicolano nell'ambiente i batteri intestinali. La resistenza ad antibiotici può essere trasmessa facilmente da iguana a iguana, perché i giovani formano la loro flora batterica intestinale attraverso la coprofagia di feci di adulto. La propagazione di queste forme di resistenza è preoccupante, perché potrebbe rendere più difficile e meno efficace un trattamento farmacologico qualora si rendesse necessario.

Nuove collaborazioni sono nate con istituzioni italiane e straniere, tra cui il Laboratorio di patologia, epidemiologia e genetica delle Galápagos (LEPG). Insieme a esso stiamo cercando di capire lo stato di salute delle popolazioni di iguana terrestre, attraverso lo studio dei parametri ematologici e la determinazione e incidenza di virus e parassiti. Integreremo poi questi dati con le informazioni che ci vengono dalle analisi dei livelli plasmatici basali di ormoni glucocorticoidi, radicali liberi e carotenoidi, usati come marcatori per valutare lo stato di stress a cui le popolazioni di iguana terrestre sono esposte.

In ultimo, mi piace sottolineare che è stato attivato un programma di scambio e di formazione per studenti italiani e stranieri, alcuni dei quali si sono laureati nell'ambito di questo progetto, mentre altri, come Arianna Fulvo, hanno scelto la conservazione delle iguane terrestri come tema del loro dottorato di ricerca. LS

L'AUTORE

GABRIELE GENTILE è rientrato in Italia attraverso il programma «Rientro dei Cervelli» dopo un periodo trascorso alla Yale University, dove ha insegnato per cinque anni. È ora ricercatore all'Università di Roma Tor Vergata dove insegna i corsi di genetica della conservazione e conservazione della natura. Si interessa di ecologia ed evoluzione di comunità cavernicole, filogenesi molecolare e genetica di popolazione, processi e meccanismi di speciazione, biologia e genetica della conservazione di specie a rischio. Devo ricordare che abbiamo ricevuto e continuiamo a ricevere l'aiuto di molte persone che hanno partecipato come volontari, anche a proprie spese; colgo questa occasione per ringraziarli tutti in modo sincero. La nostra attività prosegue con entusiasmo, pur nella costante preoccupazione di dover continuamente cercare fondi, sempre più difficili da individuare. Per questo chiediamo aiuto e ringraziamo anticipatamente chi vorrà concedercelo. Chi vorrà sostenerci potrà farlo attraverso il c/c 120597 denominato «PROGETTO IGUANE GALÁPAGOS» presso Banca Etica (CIN: Y; ABI: 05018; CAB: 03200).

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

ETANOLO
TRA MITO E REALTÀ

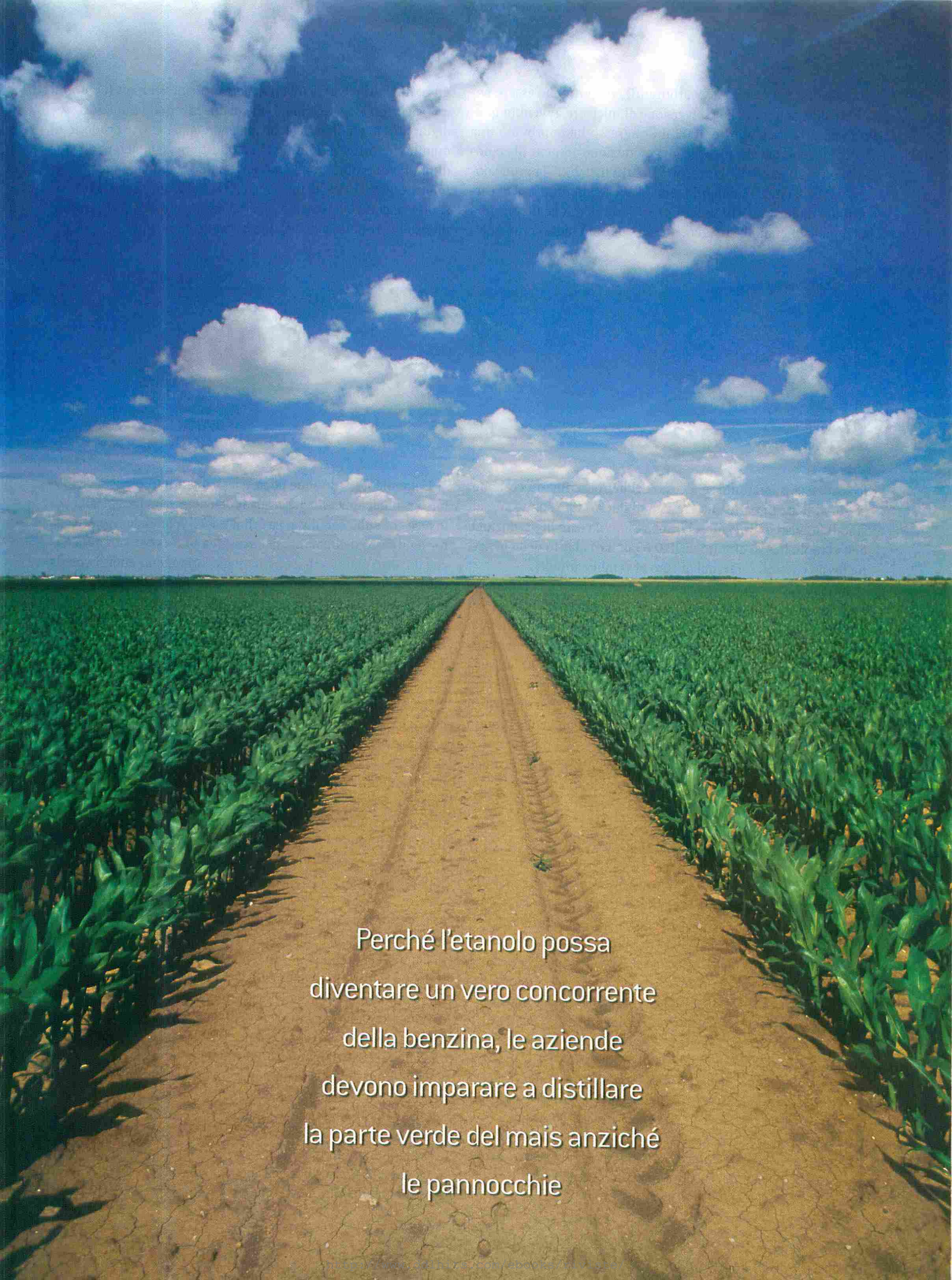
di Matthew L. Wald

Il terminal dell'aeroporto di Sioux Falls, nel South Dakota, è identico a qualunque altro terminal degli Stati Uniti. Fino a che non si arriva al recupero bagagli. Tra i nastri trasportatori è, infatti, parcheggiata una vettura da corsa, uguale a quelle che corrono a Indianapolis, ma alimentata a etanolo. Agli sportelli del noleggio auto sono affissi cartelli che ricordano ai clienti di *non* immettere nel serbatoio delle automobili noleggiate l'E85, la miscela di etanolo e benzina venduta localmente, perché danneggerebbe il motore.

Sioux Falls si trova al centro di quell'ampia area degli Stati Uniti adibita alla trasformazione del mais in etanolo. Il paese si è da poco avviato verso un'enorme

© Bios Barbier Elyas/Peter Arnold, Inc.

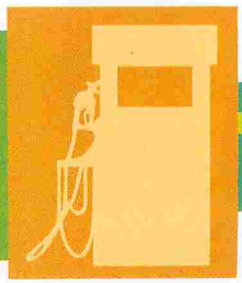
http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/



Perché l'etanolo possa
diventare un vero concorrente
della benzina, le aziende
devono imparare a distillare
la parte verde del mais anziché
le pannocchie

transizione nel campo dei carburanti, che potrebbe essere paragonabile soltanto alla conversione al nucleare avvenuta quarant'anni fa. Nell'agosto 2005 il Congresso ha approvato una legge sull'energia che prevede una produzione annuale di etanolo di oltre 28 miliardi di litri entro il 2012 (nel 2005 la produzione è stata di circa 15 miliardi), per ridurre le importazioni di carburante dall'estero. Gli esperti prevedono però che il consumo nazionale di etanolo supererà questa quantità molto prima della scadenza, soprattutto se il costo del petrolio rimarrà così alto. A giustificare in parte una crescita di questo tipo sono i sussidi statali previsti dalla legge, che abbassano il costo di produzione dell'etanolo ben al di sotto degli 0,65 dollari al litro della benzina (ossia circa 50 centesimi di euro al cambio attuale).

La produzione di etanolo negli Stati Uniti ha raggiunto i 22,5 miliardi di litri già nel 2006



In realtà secondo il Department of Energy (DOE), la produzione interna di etanolo ha raggiunto i 22,5 miliardi di litri già nel 2006. È una cifra che può sembrare modesta, se paragonata ai 545 miliardi di litri di benzina e gasolio consumati annualmente dagli americani, ma si tratta di un incremento del 50 per cento in un anno. Secondo Alexander Karsner, assistente segretario per l'efficienza energetica e le energie rinnovabili del DOE, a causa dell'alto costo del petrolio si è verificato un vero e proprio boom dell'etanolo.

Ma si tratta davvero di un buon affare? Purtroppo non con gli attuali metodi di produzione. L'etanolo prodotto attualmente negli Stati Uniti viene ricavato dalle cariossidi del mais (i chicchi) e richiede un elevato apporto di energia. Secondo numerosi studi, un litro di etanolo richiede più energia per essere prodotto di quanta ne fornisca durante la combustione, e anche negli studi più favorevoli il guadagno energetico è appena percettibile. Inoltre diverse ricerche indicano che la riduzione di gas serra che si ottiene con l'etanolo derivato dal mais è minima o addirittura inesistente rispetto alla benzina derivata dal greggio.

L'etanolo avrà dunque poco senso, dal punto di vista economico e ambientale, finché la sua produzione sarà basata sul mais invece che sulla cellulosa. La cellulosa è il materiale legnoso che forma il fusto della pianta del mais, ma può essere ottenuta anche da altre piante erbacee che richiedono meno energia per la coltivazione e il raccolto. Tuttavia, sebbene i processi batterici che sono alla base della conversione della cellulosa in etanolo siano noti, nessuna azienda del settore è ancora riuscita a sviluppare un procedimento commercialmente conveniente. La canna da zucchero, coltivata intensivamente in Brasile, è di gran lunga la pianta migliore, con un contenuto di zuccheri molto superiore al mais e alle altre piante erbacee. Il clima tropicale e la manodopera a basso costo necessari per lo sfruttamento di questo vegetale, però, la rendono inadatta a molti paesi sviluppati.

Perché la conversione della cellulosa in etanolo diventi economicamente conveniente, sono necessari progressi in campo agricolo e industriale, altrimenti l'etanolo resterà soltanto un prodotto dispendioso con benefici ambientali trascurabili, e molti paesi continueranno a dipendere dal petrolio estero.

In sintesi/*Dubbi e certezze*

- I politici insistono molto sull'etanolo ottenuto dal mais come alternativa alla benzina, ma ciò in realtà ha poco senso dal punto di vista energetico. L'etanolo richiede, infatti, grandi quantità di combustibili fossili e, anche arrivando a distillare tutto il mais americano, si coprirebbe solo il 7 per cento della domanda interna di carburante.
- Secondo numerosi studi, l'etanolo ricavato dal mais produce quasi la stessa quantità di gas serra della benzina, quindi il suo consumo consente una riduzione dell'inquinamento minima, se non addirittura nulla.
- Ricavare l'etanolo dalla cellulosa (stocchi di mais e paglia di cereali ed erbe) richiede meno combustibile fossile rispetto all'uso delle pannocchie. Le aziende, tuttavia, non sono ancora riuscite a produrre su scala industriale gli enzimi naturali necessari al processo. Altri organismi sono però allo studio: da questi dipenderà il successo dell'etanolo.

Rinnovabile? Non proprio...

Quasi tutto l'etanolo prodotto negli Stati Uniti viene venduto miscelato con la benzina; può arrivare a costituire il 10 per cento della miscela, il massimo che i motori convenzionali riescono a tollerare senza subire danni. In alcune aree, soprattutto nelle regioni agricole del centro del paese (la cosiddetta Farm Belt), viene venduto l'E85, una miscela di etanolo all'85 per cento e benzina al 15 per cento, che però necessita di motori speciali, detti *flexible fuel*. Attualmente sulle strade americane circolano diversi milioni di veicoli con motori di questo tipo (sebbene molti proprietari neanche lo sappiano), ma esistono solo poche centinaia di distributori che vendono l'E85, e la crescita della rete è piuttosto lenta.

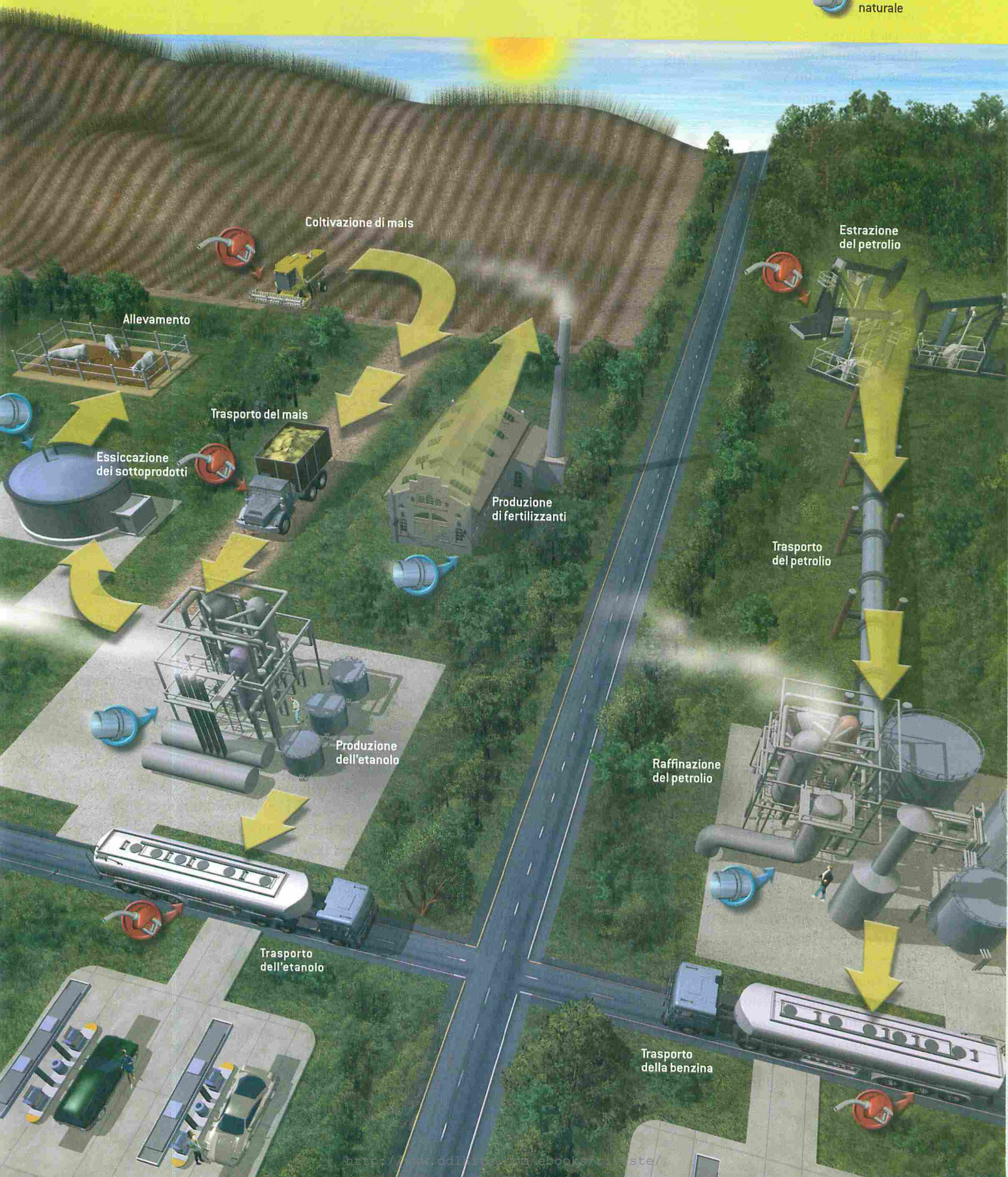
L'etanolo prodotto col mais sta comunque attraversando una forte crescita, grazie anche all'appoggio di cui gode a Washington. Al sostegno del settore agricolo si aggiunge quello di chi ritiene

Don Foley

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/

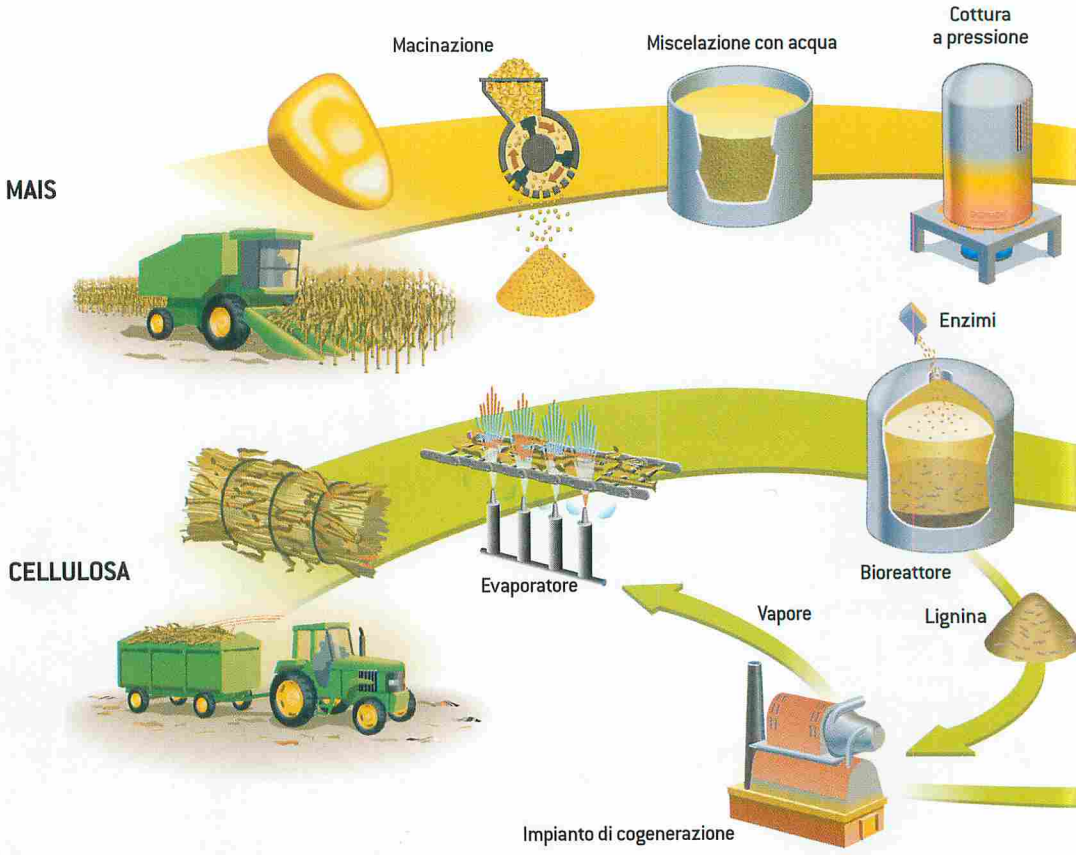
LA PRODUZIONE DI CARBURANTE

Sono necessari molti passaggi per convertire il petrolio in benzina e il mais in etanolo, e per permettere a questi carburanti di giungere ai distributori. Alcune fasi richiedono molta energia, fornita dai combustibili fossili.



http://www.ddlibri.com/ebooks/riviste/

Le differenze tra mais e cellulosa riguardano soprattutto le fasi iniziali del processo di lavorazione. Il mais viene macinato, cotto, saccarificato e infine fatto fermentare. La cellulosa, invece, viene passata al vapore per liberarne le fibre; queste vengono convertite in zuccheri nel bioreattore, grazie a speciali enzimi. Al momento, però, non ci sono bioreattori efficienti a livello industriale. Nel processo viene prodotta anche lignina, che può essere bruciata per cogenerare vapore ed elettricità. In entrambi i casi la sostanza che rimane nei sili dopo la distillazione può essere usata come foraggio.



che gli Stati Uniti debbano ridurre la propria dipendenza dal petrolio importato. I sostenitori sono convinti che, siccome il mais può essere coltivato ogni anno, l'etanolo sia un combustibile rinnovabile. La Renewable Fuel Association ha diffuso un opuscolo in cui lo presenta come un carburante patriottico, e afferma che, producendone 28 miliardi di litri all'anno, si potrebbero tagliare le importazioni di greggio di 179 milioni di barili. Questa quantità, equivalente a circa 15 giorni di importazioni, sarebbe un buon inizio, ma non certo la soluzione definitiva.

In verità, la questione dell'etanolo è un po' più complessa. Il primo problema è che un barile standard (159 litri) di etanolo equivale a circa 106 litri di benzina, perché contiene solo 3.545.000 chilojoule di energia, contro i circa 5.275.000 della super senza piombo. In pratica, con un pieno di E85 si percorre il 33 per cento di strada in meno, per cui anche se l'etanolo fosse venduto a un prezzo inferiore gli automobilisti ne consumerebbero di più per percorrere la stessa distanza.

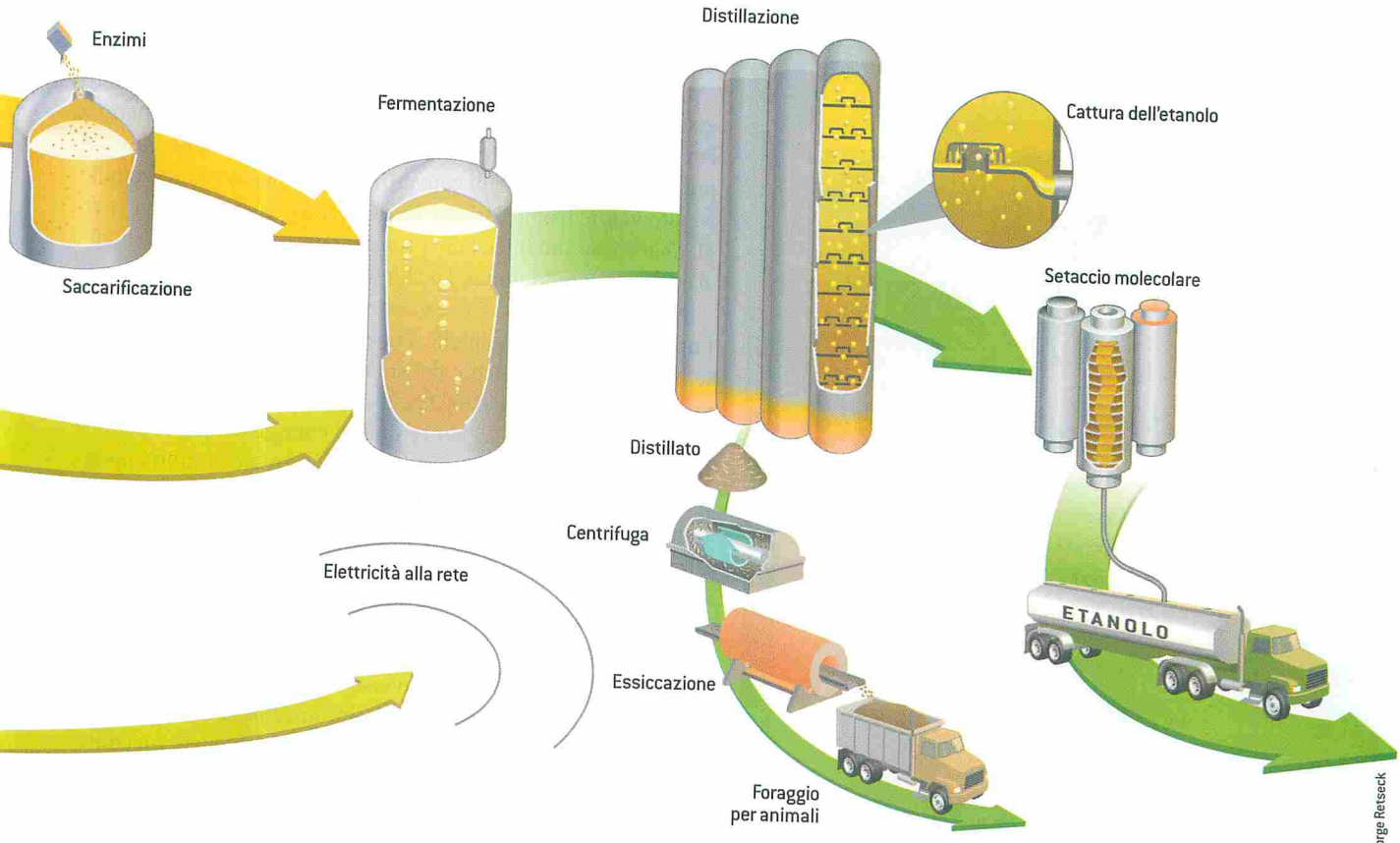
L'altro problema è che gli Stati Uniti (e non solo) non hanno tutte le risorse necessarie per produrre etanolo: il paese ha, infatti, enormi riserve di mais, ma deve importare il gas naturale necessario per la conversione. La produzione dell'etanolo per autotrasporti è in sostanza identica a quella dell'etanolo per uso alimentare: i lieviti trasformano lo zucchero in alcool e anidride carbonica, poi questo prodotto intermedio viene distillato, riscaldandolo e facendolo condensare in un recipiente separato. Il calore necessario ai vari passaggi è fornito dal gas naturale. Al momento, per produrre un litro di etanolo, con i suoi 22.300 chilojoule di energia, sono necessari circa 10.000 chilojoule di gas naturale.

Negli anni novanta, quando il Congresso decise di risollevare l'economia degli Stati agricoli con leggi che incoraggiavano la produzione dell'etanolo, il gas naturale costava poco, in media 3 dollari per milione di chilojoule. Nel 2005 il prezzo era salito a 14 dollari, con ripercussioni su tutti i settori, e il costante aumento dei consumi ha fatto peggiorato la situazione. Perciò, dati gli attuali consumi di gas, l'etanolo non può certo essere considerato un carburante sostenibile. La produzione statunitense sta inoltre diminuendo, mentre quella canadese non è sufficiente a coprire la domanda: ironicamente, quindi, per produrre etanolo «americano» gli Stati Uniti dovranno aumentare le importazioni di gas.

Come alternativa al gas, alcuni produttori di etanolo usano il carbone, che però non è una fonte pulita e rinnovabile: produce così tanta anidride carbonica che le emissioni serra complessive di un litro di etanolo prodotto in questo modo superano quelle di un litro di benzina. Per generare il calore necessario alla distillazione si potrebbe ricorrere all'elettricità, il che però implicherebbe un aumento dei consumi di carbone e gas naturale.

L'etanolo, inoltre, richiede altre forme di energia. Anzitutto deve essere trasportato con le autocisterne, che consumano gasolio, perché non è possibile farlo viaggiare in tubature sotterranee come accade per benzina e diesel. L'etanolo infatti verrebbe subito contaminato dall'acqua, che invece non si mescola con i carburanti tradizionali. Il gasolio è inoltre necessario per alimentare le mietitrebbie che raccolgono il mais, mentre il gas

http://www.ddlhits.com/ebooks/riviste/



naturale viene impiegato per produrre i fertilizzanti chimici.

Tenendo a mente queste considerazioni, alcuni studiosi hanno tentato di calcolare un «bilancio energetico netto» per l'etanolo, giungendo a risultati contrastanti. Nel 2005 David Pimentel, professore di agraria alla Cornell University, ha affermato che per produrre etanolo ci vuole più energia di quanta se ne genera quando viene bruciato. Secondo altri, però, Pimentel non ha tenuto conto del fatto che certi prodotti di scarto possono essere usati come mangime per il bestiame, e ha incluso nei calcoli alcuni costi extra, come il vitto per gli operai. Gli analisti concordano comunque nel ritenere che, anche se il bilancio energetico dell'etanolo fosse positivo, il suo margine di convenienza sarebbe minimo. Sempre nel 2005, da uno studio dell'American Institute for Biological Sciences, emergeva che l'etanolo estratto dal mais forniva solo il 10 per cento in più di energia rispetto a quella richiesta per produrlo. Per fare un paragone, la canna da zucchero coltivata in Brasile ha un rendimento del 370 per cento.

Secondo i calcoli di Michael Wang, fisico del Centro di ricerche sui trasporti dell'Argonne National Laboratory, produrre un milione di chilojoule di etanolo richiede 740.000 chilojoule di combustibili fossili (considerando tutti i passaggi, come la fertilizzazione dei campi, la raccolta del mais, la distillazione dell'alcool e così via). L'etanolo è descritto come un prodotto agricolo, ma si tratta, in realtà, di un carburante fabbricato quasi interamente a partire da combustibili fossili.

I benefici dell'etanolo per l'effetto serra, poi, sono ancora più miseri. In un articolo pubblicato su «Science» nel gennaio 2006, Alexander E. Farrel, professore di energia e risorse all'Università della California a Berkeley, descrive gli effetti dell'etanolo sui gas serra come «ambigui». Dopo aver analizzato vari studi, Farrel e gli altri autori dell'articolo hanno concluso che, per quel che riguarda l'emissione di gas serra, l'etanolo prodotto col gas naturale è di poco migliore della benzina, mentre quello prodotto col carbone è addirittura peggiore. Bruciando 10 litri di benzina si producono circa 24 chilogrammi di anidride carbonica, contando anche quella emessa durante la raffinazione. La cifra equivalente per l'etanolo è ancora oggetto di dibattito, e varia secondo il modo in cui lo si produce. È dunque scorretto promuovere l'uso dell'etanolo sulla base dei vantaggi ambientali.

Scelte strategiche o scelte politiche?

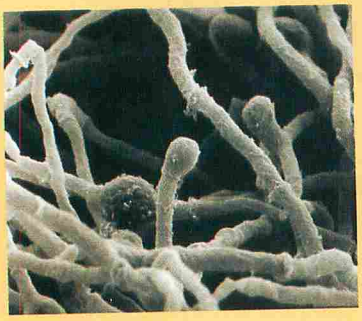
Probabilmente il Governo americano non aveva ben chiare queste considerazioni quando, nel 2005, ha deciso di far diventare i carburanti di tipo rinnovabile lo standard entro il 2012, o quando ha concesso all'etanolo uno sconto fiscale di 0,13 dolla-

L'AUTORE

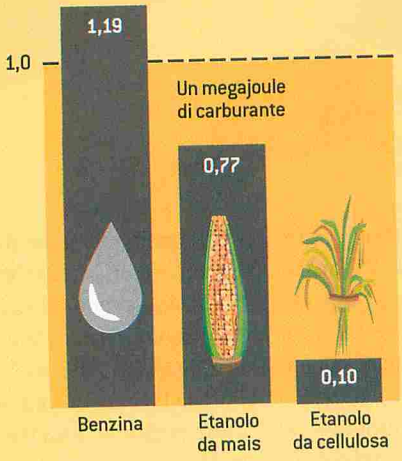
MATTHEW L. WALD è giornalista al «New York Times», dove si occupa di temi legati all'energia fin dal 1979. Ha scritto di raffinazione del petrolio, produzione dell'elettricità, auto elettriche e ibride, inquinamento atmosferico. Attualmente è inviato a Washington, dove si occupa anche di sicurezza dei trasporti.

IL VERO COSTO DEL CARBURANTE

Se si considerano tutti i passaggi dal pozzo, o dal campo, fino al distributore, si scopre che la produzione di benzina ed etanolo richiede grandi quantità di combustibili fossili (gas naturale, petrolio e carbone). I numeri in basso sono una media dei risultati di sei studi compiuti dal California Institute of Technology.



UN FUNGO ORIGINARIO DI GUAM, *Trichoderma reesei*, contribuisce a scomporre la cellulosa in zuccheri che possono facilmente essere distillati per la produzione di etanolo.



Megajoule di energia fossile necessari per produrre un megajoule di carburante

PER APPROFONDIRE

PIMENTEL D., *Ethanol Fuels: Energy Balance, Economics, and Environmental Impacts Are Negative*, in «Natural Resources Research», Vol. 12, n. 2, pp. 127-134, giugno 2003. Disponibile in rete all'indirizzo: www.ethanol-gec.org/netenergy/neypimentel.pdf.

WANG M., *Updated Energy and Greenhouse Gas Emissions: Results of Fuel Ethanol*, dal 15° Simposio internazionale sui carburanti alcolici, 26-28 settembre 2005. Disponibile in rete all'indirizzo: www.transportation.anl.gov/pdfs/TA/354.pdf.

BROWN L.R., *Plan B 2.0: Rescuing a Planet under Stress and a Civilization in Trouble*, edizione ampliata e aggiornata, W.W. Norton, 2006.

Le fonti rinnovabili secondo l'associazione «25X'25»: www.25x25.org.

ri al litro. Secondo un funzionario federale con una lunga esperienza nel settore, «il Congresso non ha fatto un'analisi del ciclo di vita, ha fatto un'analisi di tipo ADM». L'ADM è la Archer Daniels Midland, il gigante del business agricolo che per anni ha esercitato pressioni in favore dell'etanolo.

L'analisi del ciclo di vita dei combustibili sembra in effetti essere un'idea nuova per i politici che si occupano di energia. Per la prima volta, invece di valutare unicamente sulla base del prezzo la convenienza di convertire joule a basso valore in joule ad alto valore (come carbone in elettricità o greggio in benzina), gli analisti stanno iniziando a considerare anche i costi energetici e le emissioni inquinanti dell'intero processo.

Non è detto, tuttavia, che queste valutazioni abbiano un reale impatto sulle scelte politiche. Per esempio molti sostenitori delle biomasse, dell'eolico e del solare si sono riuniti in un unico gruppo, chiamato «25X'25», il cui obiettivo è arrivare, entro il 2025, a produrre il 25 per cento dell'energia del paese da fonti rinnovabili. Decine di membri del Congresso stanno appoggiando il gruppo. Tuttavia, a una conferenza di presentazione tenutasi a Washington la scorsa primavera, i leader dell'organizzazione non sono stati in grado di dire quale, tra le varie fonti, sarebbe stata la più importante – se l'eolico, il solare, l'etanolo o le biomasse – e sono stati piuttosto vaghi per quel che riguarda dati e cifre.

In realtà l'attuale interesse verso l'etanolo è dovuto, almeno in parte, a un tentativo fallito di produrre benzina più pulita. Negli anni ottanta alcuni Stati iniziarono a richiedere un contenuto più elevato di ossigeno nella benzina, illudendosi di rendere le automobili meno inquinanti (secondo i critici, però, il vero motivo era che i politici volevano aumentare la produzione di etanolo per favorire gli Stati agricoli). Quasi tutte le compagnie di raffinazione aggiunsero alla propria benzina l'etere metil-ter-butilico (MTBE) anziché l'etanolo. Negli anni successivi, dai controlli emerse che, ovunque ci fosse una perdita nella rete di distribuzione della benzina, l'MTBE – potenzialmente cancerogeno – aveva raggiunto la falda acquifera.

Con la legge sull'energia del 2005, il Congresso ha eliminato la regola che incoraggiava l'uso dell'MTBE. Le raffinerie hanno cessato di utilizzarlo, anche per evitare problemi legali, e la scelta è necessariamente caduta sull'etanolo. Bisogna inoltre dire che le raffinerie americane faticano a soddisfare la domanda interna, per cui l'aggiunta di etanolo consente loro di aumentare il volume di benzina prodotto senza dover costruire nuovi e costosi impianti.

Stocchi, non pannocchie

C'è poi un altro problema fondamentale per quel che riguarda l'etanolo: la scarsità di mais. Nonostante al momento ci sia un surplus di produzione di questo cereale, la sola produzione interna non sarà mai sufficiente per coprire il fabbisogno di carburante di un paese come gli Stati Uniti.

Nel febbraio 2005, in una lettera al senatore dell'Arizona John McCain, Pimentel affermava che per produrre 12,8 miliardi di litri di etanolo era stato consumato il 14 per cento circa del mais americano. Facendo i conti, anche convertendo il 100 per cento del mais nazionale si riuscirebbe a ottenere non più del 7 per

Daniela Naomi Molnar; fonte: California Institute of Technology (*grafico*);

cento del carburante necessario per i trasporti. Anche immaginando di incrementare i raccolti, l'obiettivo di soddisfare l'intero fabbisogno interno di carburante resterebbe irraggiungibile. Secondo i critici, inoltre, sarebbe più appropriato sfruttare le eccedenze agricole per aumentare le esportazioni, o meglio ancora per aiutare i paesi con emergenze alimentari.

Una soluzione sarebbe ricavare l'etanolo dalla cellulosa, sostanza presente nel fusto del mais e degli altri cereali, nonché in piante meno note, come alcune erbacee a crescita rapida. Nel mais, peraltro, la cellulosa è molto più abbondante rispetto alle cariossidi. Secondo il Department of Agriculture, se si convertisse in etanolo tutta la cellulosa del paese si arriverebbe a rimpiazzare un terzo di tutto il carburante tradizionale consumato negli Stati Uniti.

In termini energetici, la distillazione dell'etanolo a partire dallo zucchero della cellulosa presenta un duplice vantaggio. Prima di tutto la cellulosa del mais è praticamente a costo zero, nel senso che per raccogliere gli stocchi (i fusti privati delle pannocchie) è necessario pochissimo lavoro extra e non è richiesto nessun fertilizzante aggiuntivo. I coltivatori in genere interrano una parte delle piante raccolte per rinvigorire il terreno, ma tutto quello che avanza è disponibile. Il panìco (*Panicum virgatum*) è la pianta erbacea migliore per produrre etanolo, e richiede quantità minime di fertilizzanti.

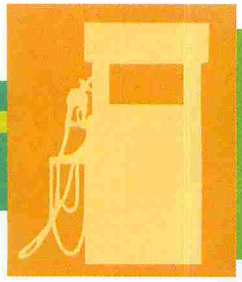
In secondo luogo, una volta rimosso lo zucchero, la sostanza che rimane, la lignina, è un ottimo combustibile. La canadese Iogen, leader nordamericano nella ricerca sull'etanolo da cellulosa, prevede che, una volta costruito il primo impianto di dimensioni commerciali, con la lignina avanzata sarà possibile addirittura produrre elettricità. In questo modo, invece di sottrarre cereali all'alimentazione per farne carburante, sarebbe possibile trasformare uno scarto agricolo in due ottimi prodotti: carburante ed elettricità.

In più le emissioni nette di anidride carbonica per chilometro percorso con questo tipo di etanolo sarebbero molto vicine allo zero – o persino inferiori a zero, se, grazie all'elettricità prodotta con la lignina, si riuscissero a ridurre i consumi di carbone e gas naturale. Per quanto riguarda l'anidride carbonica prodotta dalla lignina durante la combustione, questa emissione sarebbe compensata dall'anidride carbonica assorbita dalle piante durante la crescita. Molti ricercatori, inclusi quelli della Iogen, prevedono che sarà possibile utilizzare piante di valore alimentare sempre più basso, per arrivare, un giorno, a convertire in etanolo persino la carta riciclata.

Rimangono tuttavia dei problemi. Primo fra tutti riuscire a controllare i processi naturali di trasformazione della cellulosa. Gli zuccheri contenuti nelle fibre, infatti, non possono essere distillati finché non vengono separati dalla lignina, e di questo «lavoro» si occupano batteri o funghi specifici. Questi organismi vivono generalmente in luoghi piuttosto inaccessibili, come il sottobosco di una giungla sperduta, o l'intestino di una termite, e sono molto più difficili da addomesticare di quanto non lo siano stati i lieviti. È terribilmente complicato convincerli a moltiplicarsi all'interno di un serbatoio di acciaio inossidabile da 7500 litri, ed è altrettanto difficile controllarne l'attività quando si opera con le quantità industriali tipiche di un impianto di conversione.

Sono già diverse le aziende con procedimenti funzionanti, ma nessuna di esse è riuscita, finora, a trovare chi le finanzi. Durante un incontro svoltosi nel settembre scorso presso la Camera dei Rappresentanti, le aziende si sono lamentate dell'impossibilità di reperire aziende di progettazione di impianti disposte a garantire alle banche che il loro progetto funzionerà.

La sperimentazione con alcuni organismi particolari potrebbe aumentare le probabilità di successo. La Iogen, per esempio, il cui procedimento si basa su un micete originario di Guam, *Trichoderma reesei*, ha manipolato il DNA dell'organismo in modo da fargli produrre maggiori quantità dell'enzima utile. Altri ricercatori stanno usando gli enzimi prodotti da funghi della classe dei basidiomiceti, i comuni funghi con gambo e cappello. Lo scorso autunno, poi, la Honda ha dichiarato di aver trovato un nuovo organismo adatto allo scopo. L'Agrivida, con sede a Cambridge, in Massachusetts, sta lavorando sul DNA del mais in modo da fargli produrre un enzima che ne acceleri la conversione in etanolo.

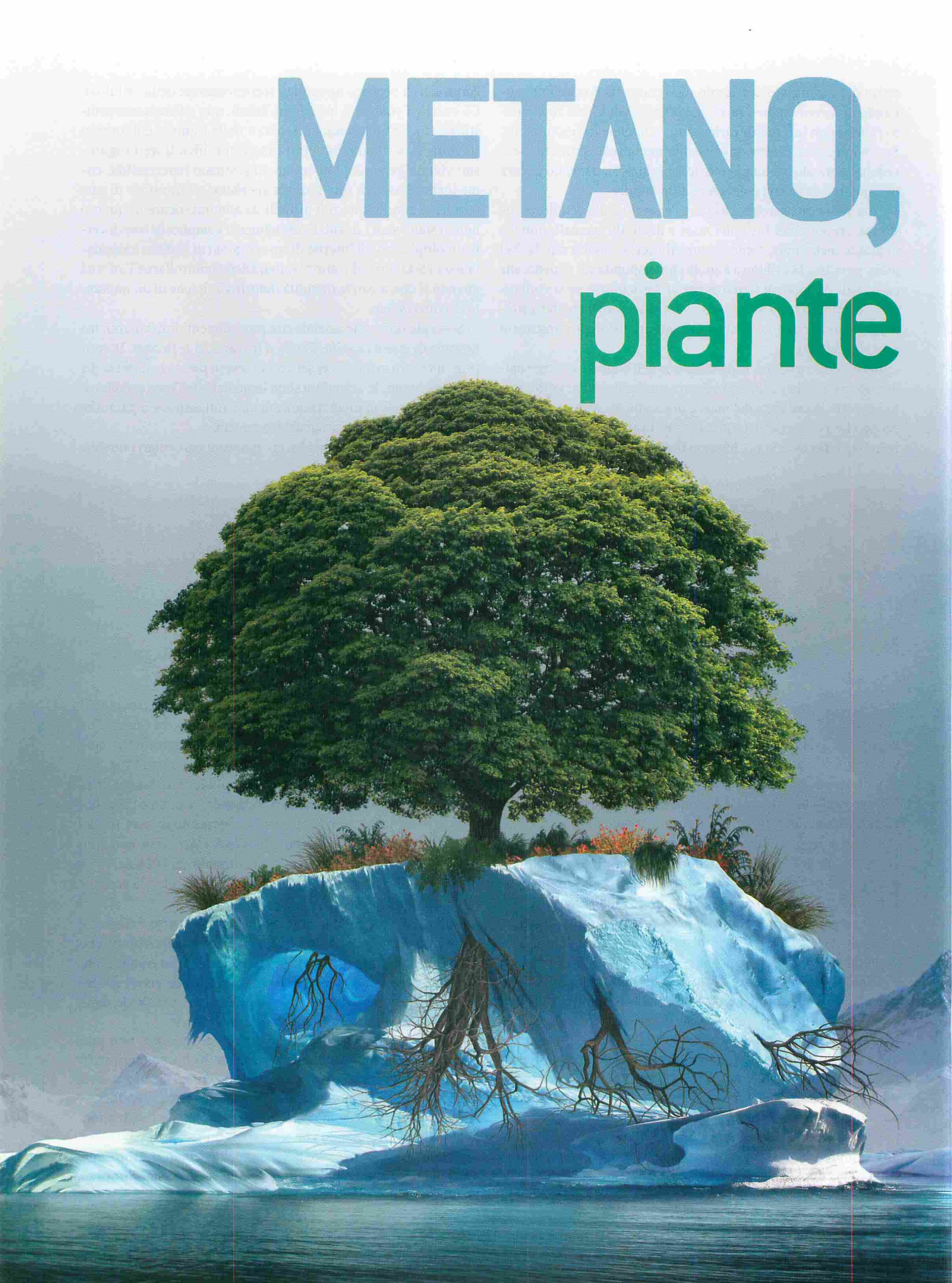


Se le aziende riusciranno a produrre gli enzimi su scala industriale, l'etanolo da cellulosa potrà diventare un serio concorrente della benzina

Nonostante queste difficoltà, nel settembre scorso il Segretario per l'energia Samuel Bodman ha dichiarato alla stampa che questa tecnologia potrebbe essere sul mercato entro cinque anni. Molte aziende saranno invogliate con generosi incentivi governativi, anche se al momento nessuna di queste tecnologie sembra pronta per una produzione su scala industriale.

Nel frattempo, l'uso dell'etanolo ricavato dal mais non può considerarsi sostenibile. Primo, perché l'agricoltura non riuscirà mai a produrre abbastanza cereale; secondo, perché non aiuta a contrastare il riscaldamento globale; e infine perché significherebbe sottrarre cibo a chi ne ha realmente bisogno. I sostenitori lo difendono affermando che si tratta di una tecnologia di passaggio in attesa di ricavare l'etanolo dalla cellulosa. Allo stato attuale, tuttavia, più che di un passaggio sembra che si tratti di un vicolo cieco. LS

METANO, piante



La scoperta che anche la vegetazione genera metano non altera le responsabilità del riscaldamento globale. Alla base dell'improvviso aumento di questo gas serra ci sono le attività umane, non le piante

e clima

di Frank Keppler e Thomas Röckmann

Che cosa puoi fare, come scienziato, quando scopri qualcosa che contraddice chiaramente i libri di testo? Noi, autori di questo articolo, ci siamo trovati ad affrontare un problema del genere quando alcuni esperimenti che stavamo conducendo nel 2005 hanno dimostrato che la vegetazione produce metano, un gas serra. Secondo la nozione consolidata, infatti, solo i microrganismi che vivono in ambienti privi di ossigeno (i batteri anaerobi) possono generare questo gas. I nostri test, però, rivelavano del tutto inaspettatamente che anche le piante verdi possono emettere metano, addirittura in gran quantità.

Per prima cosa abbiamo cercato di individuare possibili errori nella progettazione dell'esperimento, e di pensare a ogni situazione che avesse potuto fuorviarci. Ma una volta arrivati alla convinzione che i nostri risultati erano validi ci siamo resi conto di avere trovato qualcosa di molto speciale, e così abbiamo iniziato a pensare alle conseguenze delle nostre scoperte e a come presentarle ad altri ricercatori. Se per noi era già stato difficile accettarle, convincere i nostri colleghi e più in generale il grande pubblico sarebbe stato quasi impossibile. Soprattutto perché avremmo dovuto spiegare come una fonte di metano tanto importante fosse stata ignorata per decenni dai tanti e validissimi ricercatori che studiano il ruolo del metano nel cambiamento climatico.

Gas naturale

Tutti conoscono il metano (formula chimica: CH_4) come il «gas naturale». Presente nei campi petroliferi e nei giacimenti di carbone, ma anche in campi di gas naturale, è divenuto ed è presumibilmente destinato a rimanere un'importante fonte di energia, date le limitate riserve di petrolio del pianeta. Circa 600 milioni di tonnellate di questo gas – sia antropogenico (cioè derivante da attività umane) sia naturale – entrano ogni anno nell'atmosfera. Si pensava che la maggior parte di queste emissioni derivasse dalla decomposizione di materiale organico non fossile in conseguenza dell'attività di batteri anaerobi. Zone umide come paludi, acquitrini e risaie contribuiscono per la quota maggiore, ma anche i ruminanti, gli ovini e le termiti emettono metano come sottoprodotto della digestione anaerobica che avviene nel loro intestino con l'aiuto di batteri. Gli incendi delle foreste e delle savane liberano metano, così come il consumo di combustibili fossili (*si veda il box a p. 93*). Nel corso degli anni, i ricercatori hanno acquisito una conoscenza considerevole sul ciclo globale del metano, e nel 2001 l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) aveva dichiarato che le principali fonti di metano erano state probabilmente identificate (per quanto il contributo proporzionale di ciascuna fosse ancora incerto).

Alcune osservazioni sembravano però inspiegabili. Per esempio erano un mistero le grandi fluttuazioni del metano presente nell'atmosfera durante le glaciazioni e i periodi caldi, ricostruite grazie alle bolle d'aria intrappolate nelle carote di ghiaccio. Ma nessuno scienziato, nel 2001, avrebbe messo tra le fonti le emissioni dirette di metano dalle piante. Perché nessuno ipotizzava la produzione biologica di metano, eccezion fatta per i processi batterici anaerobici.

Conoscere le fonti del metano e quantificare loro emissioni è importante perché il metano è un gas serra estremamente efficiente. La quantità di anidride carbonica immessa nell'atmosfera ogni anno è molto più grande, ma un chilogrammo di metano riscalda la Terra 23 volte in più rispetto a un chilogrammo di anidride carbonica. E come conseguenza delle attività umane la concentrazione di metano nell'atmosfera è quasi triplicata negli ultimi 150 anni. Continuerà ad aumentare? Se ne possono ridurre le emissioni? I climatologi hanno bisogno di queste risposte, e per darle dobbiamo conoscere l'origine e il destino di questo gas.

Kenn Brown

Scoperte sorprendenti

L'idea di studiare le piante come possibili fonti di metano è emersa dalla ricerca che stavamo conducendo sul clorometano, un gas clorurato che distrugge l'ozono della stratosfera e che si pensava provenire principalmente dagli oceani e dagli incendi delle foreste. Qualche anno fa, quando lavoravamo al Department of Agriculture and Food Science in Irlanda del Nord, avevamo scoperto che le piante che invecchiano producono la maggior parte del clorometano presente in atmosfera. Dato che il metano, come il clorometano, è rilasciato durante la combustione di biomassa, ci eravamo chiesti se le piante intatte liberassero anche CH_4.

Per soddisfare la nostra curiosità, avevamo raccolto 30 tipi differenti di foglie sia di alberi sia di erbe delle regioni tropicali e temperate, e le avevamo messe in piccoli contenitori con concentrazioni tipiche dell'ossigeno atmosferico. Con nostra meraviglia, tutti i tipi di foglia e di materiale vegetale producevano metano. Di norma un grammo di materiale vegetale essiccato rilasciava in un'ora tra 0,2 e 3 nanogrammi (un miliardesimo di grammo) di metano. Queste quantità relativamente piccole erano difficili da monitorare, anche con la nostra strumentazione sensibile e moderna.

Abbiamo raccolto 30 tipi diversi di foglie di alberi e di erbe. E con nostra MERAVIGLIA abbiamo registrato che tutti i tipi di foglia e materiale vegetale hanno prodotto METANO.

Il compito era ancora più impegnativo, visto che dovevamo differenziare il metano prodotto dal tessuto vegetale da quello presente normalmente nell'ambiente, il cosiddetto «fondo». E a nostro parere è stata proprio questa difficoltà che ha impedito ai biologi di osservare il fenomeno in precedenza. Noi ci siamo riusciti perché abbiamo rimosso l'interferenza del fondo ripulendo i contenitori con aria priva di metano prima dell'inizio di ogni esperimento, e in questo modo siamo stati in grado di misurare il metano liberato dal tessuto vegetale.

Ma la curiosità cresceva, così abbiamo fatto esperimenti simili con piante viventi in cui abbiamo riscontrato che i tassi di produzione del metano aumentavano nettamente, da 10 a 100 volte rispetto a quelli delle foglie staccate dalle piante (*si veda il box a p. 95*). In una successiva serie di esperimenti abbiamo escluso la possibilità che a produrre il metano fossero batteri anaerobi. E alla fine eravamo assolutamente convinti del fatto che le piante viventi rilasciano quantità significative di metano. Ma non eravamo in grado di fornire risposte sul meccanismo alla base del fenomeno, per quanto sospettassimo un coinvolgimento della pectina, una sostanza presente nella parete cellulare delle cellule vegetali, e quindi avevamo deciso di attendere gli esiti di un'ulteriore ricerca ancora in corso. Ma visto il ruolo del metano nel cambiamento climatico ci eravamo resi conto di quanto fosse importante conoscere l'ammontare di gas rilasciato nell'atmosfera dalla nuova sorgente.

In che misura le piante possono contribuire alla quantità globale di metano? Ovviamente, avevamo capito subito che se solo una singola foglia o una singola pianta avessero prodotto quantità microscopiche, questi piccoli contributi si sarebbero sommati rapidamente, visto che le piante ricoprono una parte sostanziale del globo. Eppure siamo rimasti sbalorditi dai risultati dei calcoli: ogni anno le piante generano tra 60 e 240 milioni di tonnellate di metano, pari a una quota tra il 10 e il 30 per cento delle emissioni globali. La maggior parte, circa due terzi, ha origine nelle zone tropicali ricche di vegetazione. Sapevamo che l'estrapolazione di stime globali da un campione limitato di misurazioni di laboratorio era esposta a errori. Tuttavia il risultato finale pareva davvero grande, e se la cosa sorprendeva noi, a molti dei nostri colleghi sarebbe sembrata un'eresia.

Per fortuna, a sostegno delle nostra scoperta ne è arrivata subito un'altra, anch'essa del tutto inattesa. Un gruppo di fisici ambientali di Heidelberg, in Germania, stava effettuando osservazioni dell'atmosfera terrestre dallo spazio, e nel 2005 le loro misurazioni avevano rivelato la presenza di «nubi» di metano al di sopra di foreste tropicali (*si veda l'immagine a p. 94*). Gli scienziati tedeschi, inoltre, riferivano che le loro osservazioni non trovavano una spiegazione con le conoscenze correnti sul bilancio globale del metano. Alla luce delle nostra scoperta, però, la loro osservazione aveva un senso: le piante verdi erano la sorgente delle nubi.

Di recente, un ulteriore sostegno ci è stato dato da Paul J. Crutzen, premio Nobel per la chimica nel 1995, e colleghi. Dopo la pubblicazione delle nostre scoperte nel gennaio 2006, Crutzen e colleghi hanno analizzato nuovamente le misurazioni, effettuate nel 1988, di campioni d'aria prelevati nella savana venezuelana, e hanno concluso che la vegetazione di queste regioni rilascia da 30 a 60 milioni di tonnellate di metano. Crutzen ha affermato che «già nel 1988 avremmo potuto scoprire il fenomeno, ma l'idea imperante dell'epoca, secondo cui il metano è prodotto solo in condizioni anaerobiche, ci ha fatto perdere il treno».

Molti ricercatori mettono ancora in dubbio le nostre stime sulla quantità di metano prodotto dalla vegetazione, anche se non dubitano più del fenomeno. E quindi molti nostri colleghi sono impegnati a ricalcolare il bilancio dell'origine vegetale del metano usando metodi diversi dai nostri, ma applicando i nostri tassi di emissione. Naturalmente, attendiamo con ansia una verifica indipendente dei risultati che abbiamo ottenuto.

Risolvere un vecchio rompicapo

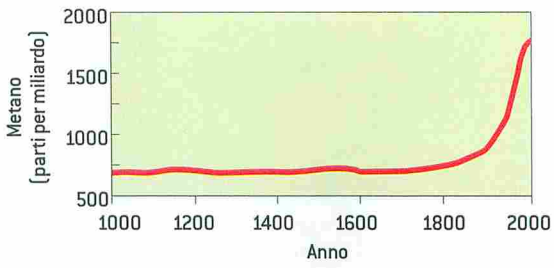
Le nostre scoperte spiegherebbero una tendenza che da anni sconcerta i climatologi: fluttuazioni dei livelli di metano parallele alle variazioni delle temperature globali. Le carote di ghiaccio sono archivi naturali che memorizzano informazioni sulla composizione dell'atmosfera e sulla variabilità del clima all'indietro nel tempo per quasi un milione di anni. Minuscole bollicine d'aria intrappolate nel ghiaccio rivelano le concentrazioni dei gas atmosferici nel passato (*si veda il box a p. 95*). Per esempio nelle carote di ghiaccio vediamo che le variazioni dei livelli di anidride carbonica sono strettamente correlate alle variazioni delle tempe-

I LIBRI DI TESTO DICONO CHE...

Negli ultimi 150 anni le emissioni di metano nell'atmosfera sono triplicate (*grafico*) e attualmente circa 600 milioni di tonnellate di questo gas sono immesse in atmosfera ogni anno. Un aumento che preoccupa, visto che il metano, come l'anidride carbonica, intrappola calore nell'atmosfera terrestre e contribuisce al riscaldamento globale. Fino alla scoperta degli autori di questo articolo si riteneva che tutte le emissioni naturali di metano provenissero dall'attività di batteri che vivono in ambienti umidi e poveri di ossigeno, che comprendono le paludi e le risaie, gli apparati digerenti delle termiti e dei ruminanti. E le analisi delle sorgenti del gas nell'ambiente (*grafici a torta*) indicavano come il drastico incremento delle concentrazioni di metano dalla metà del XIX secolo fosse causato dalle attività umane, in particolare dalle industrie (consumo di combustibili fossili per ottenere energia) e dall'aumento delle coltivazioni di riso e degli allevamenti di ruminanti (a causa della crescita di popolazione). La scoperta non mette in dubbio la spiegazione del perché le concentrazioni di metano nell'atmosfera sono aumentate, ma le stime dei contributi di metano da fonti naturali dovranno essere riviste.

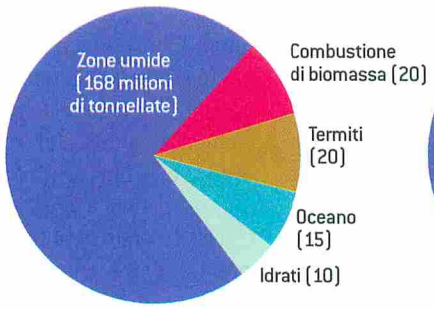
Laurie Grace e Jana Brenning

Concentrazione di metano nell'atmosfera

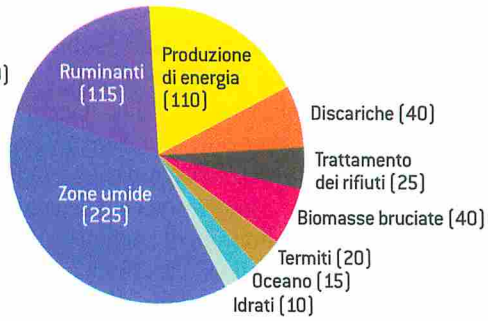


Emissioni di metano

Epoca preindustriale: 233 milioni di tonnellate all'anno



Oggi: 600 milioni di tonnellate all'anno



GLI AUTORI

FRANK KEPPLER e THOMAS RÖCKMANN hanno scoperto l'emissione di metano dalle piante mentre lavoravano al Max-Planck-Institut di Heidelberg, in Germania. Nel 2000, Keppler ha ottenuto il Ph.D. in geochimica ambientale all'Università di Heidelberg e di recente ha ricevuto lo European Young Investigator Award. Röckmann ha ottenuto il Ph.D. all'Università di Heidelberg e dal 2005 è professore all'Istituto di ricerca marina e atmosferica di Utrecht, in Olanda.

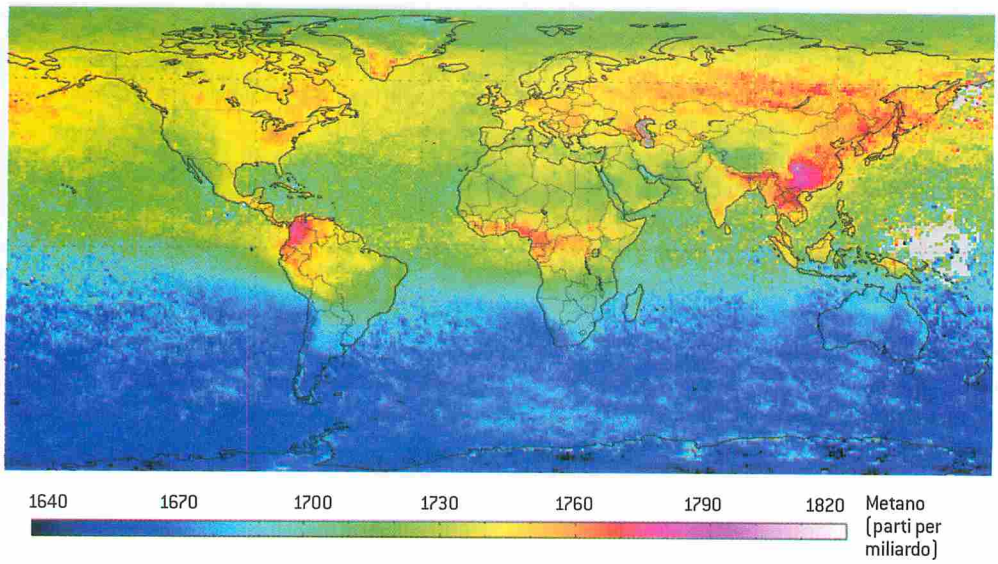
In sintesi/*Chimica della natura*

- La nozione comune è che il metano sia prodotto da microrganismi che vivono in assenza di ossigeno, ma alcuni esperimenti hanno rivelato che anche le piante viventi sono in grado di generare questo potente gas serra.
- Anche se questa sorprendente scoperta è in grado di spiegare molte osservazioni enigmatiche fatte in passato, una parte della comunità scientifica è ancora scettica, in particolare riguardo all'ammontare di metano generato dalla vegetazione.
- Un equivoco iniziale ha indotto alcuni a diffondere l'idea che le foreste potessero contribuire al riscaldamento globale, ma gli autori della scoperta sottolineano con enfasi che le piante non contribuiscono al recente aumento del metano e del riscaldamento globale.

rature globali. Durante i periodi di glaciazione, le concentrazioni di anidride carbonica sono basse; durante i periodi caldi, i livelli aumentano. In generale le concentrazioni di metano seguono la stessa tendenza dell'anidride carbonica, ma la ragione di questo fenomeno non è chiara. Gli scienziati hanno tentato di usare modelli di zone umide (la sola sorgente naturale di metano di cui si teneva conto in precedenza) per ricostruire le strane variazioni dei livelli di metano nel passato, ma hanno incontrato notevoli difficoltà nel riprodurre le differenze dei livelli atmosferici di metano tra i periodi glaciali e interglaciali.

Un'altra spiegazione chiama in causa il gas nella forma dei cosiddetti «idrati di metano», composti chimici che si formano ad alte pressioni, come quelle registrate sul fondo dell'oceano. Nei sedimenti oceanici è intrappolata una quantità ignota, ma che potrebbe essere molto grande, di metano in forma di idrati, ed è stato ipotizzato che nel passato remoto della Terra l'improvviso rilascio in atmosfera di grandi volumi di gas dagli idrati avrebbe causato repentini riscaldamenti globali. Tuttavia recenti studi sulle carote di ghiaccio polare mostrano che almeno negli ultimi 40.000 anni gli idrati marini sono rimasti stabili, un dato che esclude un loro coinvolgimento negli improvvisi aumenti dei livelli atmosferici di metano nell'ultimo ciclo glaciale.

Sappiamo che la vegetazione terrestre è molto sensibile ai cambiamenti ambientali, e dunque la quantità totale di vegetazione sul pianeta varia a seconda del raffreddamento o del riscaldamento del clima durante i cicli glaciali. Alla luce delle nostre scoperte, queste variazioni dovrebbero essere seriamente consi-



LE IMMAGINI DA SATELLITE DELL'ATMOSFERA TERRESTRE hanno contribuito a confermare la controversa scoperta degli autori. Nel 2005 alcuni fisici ambientali hanno osservato la presenza di nubi di metano al di sopra delle foreste tropicali. Mentre il modello standard relativo alla produzione di metano non poteva spiegare questa osservazione, la scoperta di Keppler e Röckmann dava un senso a queste strane nubi: il metano è emesso dall'abbondante vegetazione dei tropici.

derate come una possibile causa della diminuzione dei livelli di metano durante i periodi glaciali, e del loro aumento nel corso dei periodi interglaciali. Durante l'ultimo massimo glaciale, circa 21.000 anni fa, l'estensione della foresta amazzonica era metà dell'attuale, quindi la vegetazione tropicale potrebbe aver liberato molto meno metano. Da quel momento la temperatura superficiale globale e le concentrazioni di anidride carbonica sarebbero via via aumentate, portando a una crescita vegetale più accentuata e, come ci aspetteremmo, al rilascio di una quantità sempre maggiore di metano da parte della vegetazione.

Simili scenari climatici si sarebbero verificati anche in altri periodi della storia terrestre, in particolare in corrispondenza delle estinzioni di massa, come il limite Permiano-Triassico (250 milioni di anni fa) e il limite Triassico-Giurassico (200 milioni di anni fa). Concentrazioni molto elevate di anidride carbonica nell'atmosfera e temperature in aumento avrebbero causato un drastico incremento della biomassa vegetale. Questi periodi di riscaldamento globale sarebbero stati accompagnati da un abbondante rilascio di metano dalla vegetazione e da un maggiore riscaldamento. Per quanto sia solo una supposizione, l'ipotesi che le emissioni siano state fino a dieci volte più abbondanti di quanto siano oggi non è irragionevole. Se così fosse, le emissioni di metano dalla vegetazione, oltre alle emissioni di gas dalle zone umide e probabilmente dai fondali marini, dovrebbero essere considerate una forza determinante nella storia dei cambiamenti climatici.

Fraintendimenti mediatici

Quando, il giorno stesso in cui il tuo lavoro è stato pubblicato, vedi che la BBC trasmette un servizio giornalistico dedicato alla tua ricerca subito dopo le notizie sull'influenza aviaria e sulla situazione in Iraq, capisci di avere scoperto qualcosa di grande importanza per la società. Questa percezione si è rafforzata il giorno dopo, quando la nostra ricerca è apparsa su giornali di tutto il mondo, spesso con titoli in prima pagina.

Purtroppo, però, una grande copertura mediatica può condurre a esagerazioni, e nel nostro caso ha portato a equivocare i nostri risultati. In particolare, molti articoli affermavano che le piante potessero essere responsabili del riscaldamento globale. Quando poi inizi a ricevere e-mail e telefonate da persone che ti chiedono se devono abbattere tutti gli alberi del loro giardino per combattere il cambiamento climatico, ti rendi conto che qualcosa è andato storto nella comunicazione con il pubblico. Allora ci siamo sentiti costretti a emettere un altro comunicato stampa per correggere queste interpretazioni fuorvianti.

Nel secondo comunicato sottolineavamo che, se la nostra scoperta è vera, le piante stanno emettendo metano nell'atmosfera da centinaia di milioni di anni. Quelle emissioni hanno contribuito all'effetto serra naturale, senza il quale la vita come noi la conosciamo sarebbe stata impossibile. Quindi, le piante non sono responsabili del drastico incremento delle concentrazioni di metano dopo l'inizio dell'era industriale. L'incremento è stato causato dalle attività umane.

Si è anche ipotizzato che le emissioni di metano delle piante possano vanificare o superare l'effetto positivo dell'immagazzinamento del carbonio generato dalla riforestazione. Se fosse vero, tutto ciò avrebbe importanti implicazioni per i paesi che tentano di implementare il Protocollo di Kyoto, perché una delle strategie di mitigazione dell'anidride carbonica previste dall'accordo sono proprio i programmi di riforestazione. Ma i nostri calcoli mostrano che i benefici climatici ottenuti piantando nuove foreste per assorbire l'anidride carbonica supererebbero di gran lunga l'effetto negativo, relativamente piccolo, dell'aggiunta di altro metano all'atmosfera (che riduce l'assorbimento complessivo del carbonio da parte degli alberi al massimo del quattro per cento). Il potenziale di riduzione del riscaldamento globale per mezzo di atti di riforestazione è quindi assolutamente positivo.

Nel calore della discussione, è stato dimenticato un fatto fondamentale: le piante generano l'ossigeno che rende possibile la vita, e svolgono anche altri ruoli importanti. Per fare solo due esempi: offrono un ambiente naturale che promuove la biodiversità e controllano il ciclo dell'acqua ai tropici. Il problema non sono le piante: è il consumo su grande scala dei combustibili fossili.

Una preoccupazione più legittima è se il metano prodotto dalla vegetazione possa avere un impatto sul clima nel prossimo futuro. Anche se le piante non sono responsabili del forte incremento di metano nell'atmosfera sin dalle epoche preindustriali, è vero

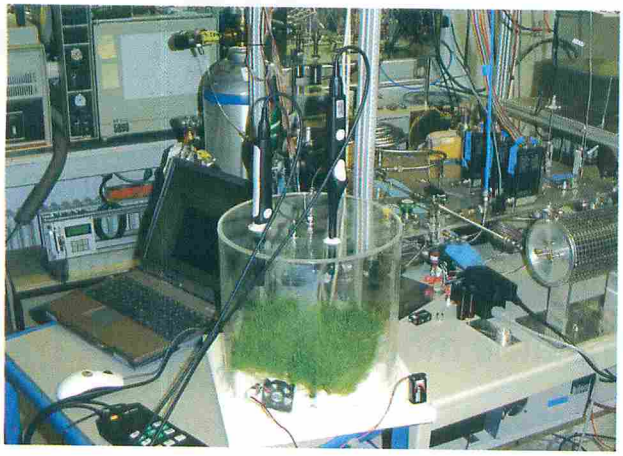
Da *Satellite Chartography of Atmospheric Methane from Sciamachy on Board Envisat: Analysis of the Years 2003 and 2004*, di C. Frankenberg e altri, in «Journal of Geophysical Research», Vol. 111, 2006

MA GLI ESPERIMENTI DICONO CHE...

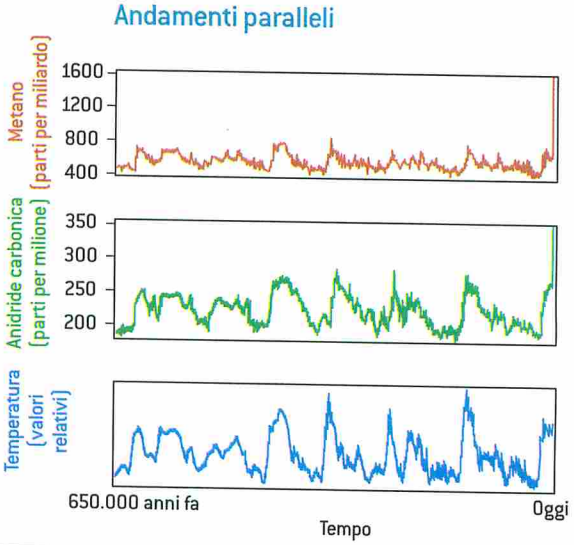
Gli autori di queste pagine hanno esaminato i gas emessi da residui vegetali e da piante viventi (la fotografia qui sotto mostra un esperimento condotto con la segale), e hanno riscontrato che sia i residui vegetali sia la vegetazione in crescita producono gas metano. Questa importante fonte di emissioni era passata inosservata in passato, mascherata dal livello di fondo del metano nell'atmosfera, fino a quando non sono stati effettuati esperimenti con contenitori svuotati di ogni traccia del gas: in questo modo Keppler e Röckmann sono stati in grado di misurare le piccolissime quantità di metano emesse dalle piante viventi.

Queste nuove conoscenze potrebbero spiegare le sconcertanti fluttuazioni dei livelli di metano che riflettono i cambiamenti dei livelli di anidride carbonica e delle temperature globali (*si vedano i grafici*). Gli scienziati hanno tracciato questi cambiamenti con lo studio delle carote di ghiaccio (*fotografia in basso a sinistra*).

Le bolle d'aria intrappolate nel ghiaccio (*fotografia in basso a destra*) conservano informazioni sulla composizione dell'atmosfera che risalgono a quasi un milione di anni fa, e le concentrazioni di deuterio nel ghiaccio forniscono informazioni relative alla temperatura. È molto probabile che le alte concentrazioni di anidride carbonica in atmosfera e l'aumento delle temperature abbiano causato una grande crescita della vegetazione, crescita che potrebbe essere stata accompagnata da un parallelo rilascio di grandi quantità di gas metano.



UNO DEGLI ESPERIMENTI che hanno permesso di rilevare le microscopiche quantità di metano prodotte dalla vegetazione vivente.



LE CAROTE DI GHIACCIO (*a sinistra*) contengono bolle che rivelano la composizione dell'antica atmosfera. Le bolle di gas nella microfotografia (*a fianco*) ottenuta da un taglio sottile del ghiaccio sono scure, e hanno un diametro che va da uno a tre millimetri.

Frank Keppler e Max-Planck-Institut per la fisica nucleare, Heidelberg (*fotografia laboratorio*); adattato da *Tiny Bubbles Tell All*, di Edward J. Brook, in «Science», Vol. 310, 25 novembre, 2005, con il permesso della AAAS (*grafici*); Afp/Getty Images (*ghiaccio*); W. Berner, Università di Berna (*microfotografia*)

PER APPROFONDIRE

GRAEDEL T.E. e CRUTZEN P.J., *L'atmosfera che cambia*, in «Le Scienze» n. 255, novembre 1989.

HOUGHTON J.T., DING Y., GRIGGS D.J., NOGUER M., VAN DER LINDEN P.J., DAI X., MASKELL K. e JOHNSON C.A. (*a cura*), *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge University Press, 2001. Disponibile on line all'indirizzo: www.ipcc.ch.

KEPPLER F., HAMILTON J.T.G., BRASS M. e RÖCKMANN T., *Methane Emissions from Terrestrial Plants under Aerobic Conditions*, in «Nature», Vol. 439, pp. 187-191, 12 gennaio 2006.

SCHIERMEIER Q., *Methane Finding Baffles Scientists*, in «Nature», Vol. 439, p. 128, 12 gennaio 2006.

che tendono a crescere più rapidamente in un clima più caldo, e quindi possiamo aspettarci che le emissioni di metano aumentino al crescere della temperatura, provocando un riscaldamento ancora maggiore. Questo circolo vizioso sarebbe in sé un fenomeno naturale, tranne per il fatto che la sua velocità è accelerata da attività antropiche come il consumo di combustibili fossili. Ma la forte retroazione positiva al cambiamento climatico verificatasi in passato per effetto dei vegetali difficilmente potrà instaurarsi oggi, dopo che gran parte delle foreste è stata abbattuta.

Anche se è troppo presto per affermare con certezza come la nostra scoperta influenzi le previsioni riguardo al riscaldamento climatico nel futuro remoto, è chiaro che le nuove valutazioni dovranno considerare le emissioni di metano delle piante. LS

Il potere dell'RNA

La scoperta di molecole sopravvissute a un mondo dominato dall'RNA apre la strada a nuovi metodi per combattere le malattie moderne

di Ronald R. Breaker e Jeffrey E. Barrick

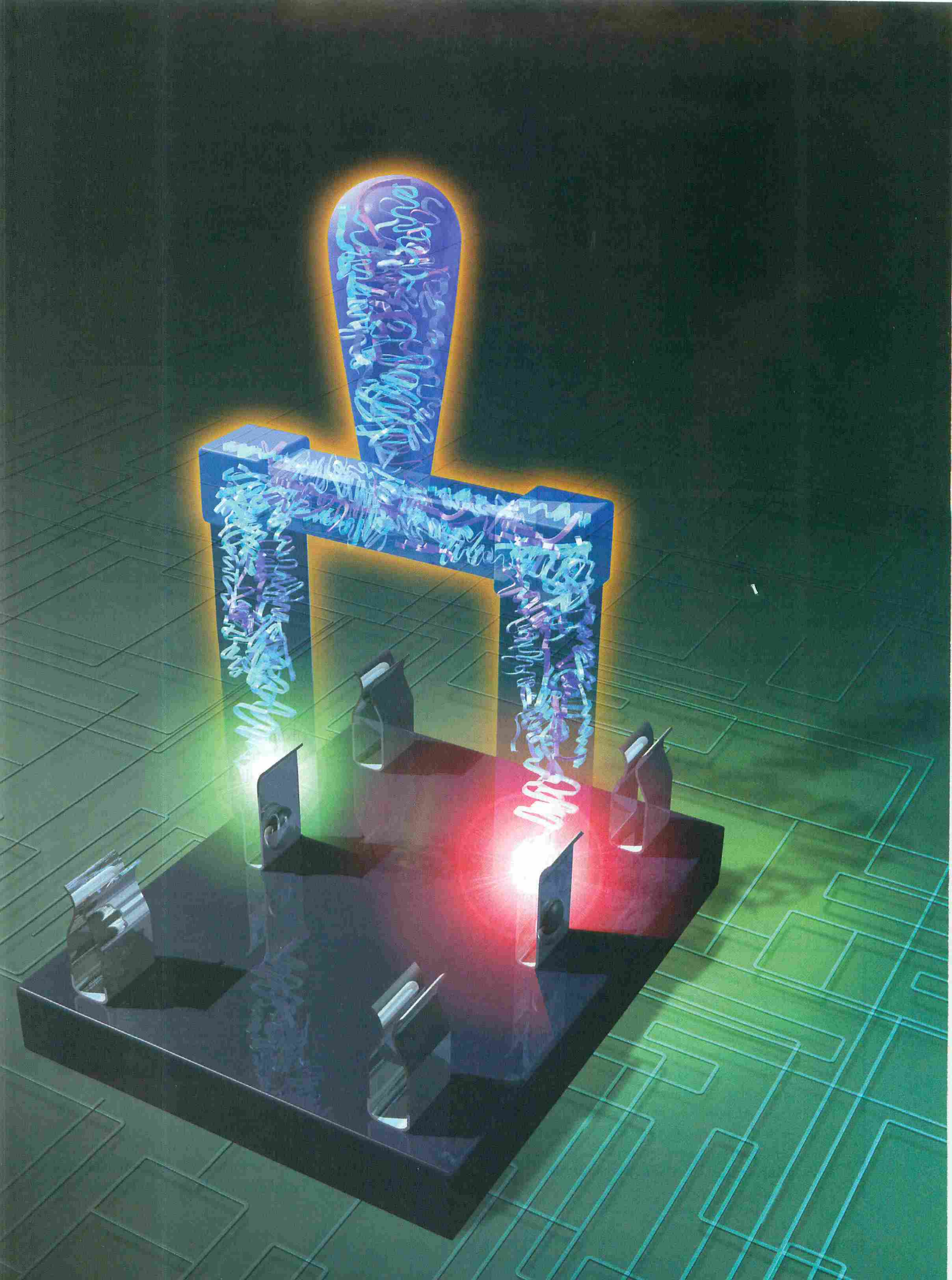
Il misterioso modo in cui i batteri controllano le loro vitamine stimolò la nostra curiosità nell'autunno del 2000. A spingerci in cerca della risposta a questo enigma furono da un lato le crescenti prove a sostegno di un'affascinante teoria sulle prime forme di vita, e dall'altro i nostri tentativi di realizzare degli «interruttori» a partire da molecole biologiche. Ma ciò che abbiamo scoperto è assai più stupefacente di quanto ci aspettassimo. Una nuova forma di autocontrollo cellulare basata su uno dei più antichi tipi molecolari: l'acido ribonucleico, o RNA.

Ritenuto a lungo un umile messaggero, l'RNA potrebbe invece aver goduto di un grande potere, e di sofisticati meccanismi per affermarlo. Il funzionamento di questa classe di molecole di RNA da poco scoperta (che abbiamo chiamato *riboswitch*, o ribointerruttori) è ancora da chiarire, ma è già evidente che potrebbe aprire la strada a nuovi metodi per combattere le malattie. Molti batteri patogeni, per esempio, si affidano ai ribointerruttori per controllare alcuni aspetti fondamentali del loro metabolismo.

La persistenza di questa antica forma di autoregolazione negli organismi moderni ne dimostra l'importanza. Le cellule batteriche sono fabbriche di molecole chimiche straordinariamente adattabili e autonome, dedite alla realizzazione di un unico prodotto: infinite copie di se stesse. Ma solo i ceppi che sono riusciti a salvaguardare questa catena di riproduzioni malgrado la spietata concorrenza per le risorse sono sopravvissuti così a lungo.

La capacità dei batteri di produrre in soli 20 minuti le centinaia di molecole complesse di cui hanno bisogno per replicarsi deriva dal genoma a doppia elica di DNA che ogni organismo vivente copia fedelmente di generazione in generazione. Questo manuale di istruzioni è scritto nell'alfabeto a quattro lettere del DNA, costituito dalle basi azotate adenina, timina, citosina e guanina, legate a un'impalcatura molecolare in cui molecole di zucchero si alternano a gruppi fosfato. Quasi il 90 per cento del DNA di un tipico batterio è dedicato a codificare le istruzioni per assemblare l'apparato proteico che accelera e organizza le fasi chimiche del metabolismo necessarie per costruire una nuova cellula.

Nella fabbrica cellulare, questo processo inizia quando l'enzima RNA-polimerasi si lega al DNA del genoma e inizia a copiare parti del suo testo in una specie molecolare chimicamente simile, l'RNA messaggero o mRNA. Le cellule batteriche hanno così fretta che, appena una molecola di polimerasi inizia a leggere il messaggio del DNA e a trascriverlo, un'altra polimerasi sta già incalzando la prima per cominciare a trascrivere la copia successiva di mRNA. La maggior parte dei messaggi codifica per un'unica proteina, anche se alcuni, noti con il nome di «opero-



ni», definiscono le modalità per produrre un'intera serie di proteine funzionalmente correlate. Poiché l'RNA è chimicamente meno stabile del DNA, la cellula batterica tratta questi molteplici trascritti alla stregua di fotocopie di carta. Le molecole di mRNA inutilizzate sono fatte rapidamente a pezzi e riciclate, per cui ai ribosomi, gli operai incaricati di costruire le proteine, arrivano solamente solo i nuovi ordini.

Anche i ribosomi hanno fretta; in genere si mettono in coda uno dietro l'altro per iniziare a leggere e a eseguire le istruzioni dell'mRNA addirittura prima che la polimerasi abbia completamente processato il trascritto. Procedono lungo il filamento di mRNA decodificando ogni tripletta di nucleotidi per trasformarla in uno specifico amminoacido che poi aggiungono alla catena nascente. Via via che il filamento proteico emerge dal ribosoma si avvolge su se stesso formando una complicata struttura tridimensionale; a questo punto, una nuova porzione dell'apparato di traduzione è pronta a mettersi in moto e iniziare il lavoro.

Per garantire che la sua produzione chimica funzioni costantemente, la cellula si affida in particolare a due categorie di proteine: le proteine di trasporto, che traghettano materiali grezzi, e gli enzimi, che ne accelerano il processo di trasformazione attraverso fasi successive, lungo i cicli e le reazioni chimiche del metabolismo.

I batteri, comunque, stanno bene attenti a non sprecare risorse realizzando infrastrutture superflue, perciò hanno sviluppato meccanismi di controllo che possono cortocircuitare il trasferimento degli ordini in risposta a cambiamenti nella richiesta o nella disponibilità di nutrienti. Sono state proprio le scoperte sul funzionamento di questi supervisori cellulari a far emergere il mistero del controllo delle vitamine.

Di solito i batteri usano varie proteine che controllano costantemente le riserve di diverse sostanze grezze, adeguando il numero di trasportatori e di enzimi assegnati alle varie linee di produzione. Il repressore Lac nell'intestino del batterio *Escherichia coli*, per esempio, è un complesso proteico che blocca l'accesso alle informazioni contenute nel DNA sia a un trasportatore che pompa il lattosio, uno zucchero, nella cellula, sia a un enzima che scinde il lattosio in due perché sia usato come combustibile, fino al momento in cui diventano necessari. Poi, quando la concentrazione di lattosio sale oltre una certa soglia critica, il complesso Lac lascia andare lo stampo di DNA consentendo al processo di trascrizione dei geni di iniziare.

Un meccanismo di regolazione analogo si basa su supervisori proteici che decidono che cosa fare con i filamenti di mRNA mentre vengono copiati dal DNA genomico. Nel batterio *Bacillus subtilis*, il complesso proteico TRAP controlla un operone che codifica enzimi necessari alla sintesi dell'amminoacido triptofano, e un altro che specifica le istruzioni per la sintesi di un trasportatore del triptofano. Quando TRAP percepisce che queste proteine non sono necessarie avvolge strettamente su di sé l'estremità guida delle istruzioni contenute nel loro mRNA. Ciò impedisce a un ribosoma di riconoscere un sito sul trascritto del trasportatore da cui è possibile iniziare la traduzione, ma induce il filamento di mRNA a ripiegarsi formando una specie di forcina, le cui estremità sono tenute assieme da nucleotidi che si legano fra loro, determinando così la fine prematura della trascrizione del messaggio (*si veda l'illustrazione a fianco*).

Oltre a questi strumenti per regolare la produzione dell'apparato proteico cellulare di base, i batteri portano con sé una fornita cassetta di utensili per costruire composti chimici più insoliti. L'uomo, per esempio, deve ricavare le vitamine dal cibo, mentre i batteri sanno assemblarle a partire da zero. Molte delle vitamine più complesse in realtà sono versioni di «coenzimi», vale a dire piccole molecole che collaborano con le proteine enzimatiche. Si tratta di strumenti specializzati, un po' simili a pistole pneumatiche e un po' a punte di trapano di diamante, che hanno potenti funzioni chimiche. Nella costruzione dei coenzimi da sostanze grezze sono coinvolte vie metaboliche importanti, e i batteri – che sono naturalmente risparmiatori – controllano rigorosamente questa costosa sintesi, sospendendola quando i coenzimi non sono necessari.

Alla fine degli anni novanta, lo studio dei meccanismi batterici che regolano la produzione di alcuni coenzimi fece individuare uno schema molecolare che ricorda i sistemi di TRAP e del repressore Lac. Ma quando non si riuscì a identificare le proteine di sorveglianza responsabili di percepire ciascun coenzima e di controllare la trascrizione o la traduzione dell'mRNA emerse un mistero più fitto: se non usa proteine supervisore, come fa l'apparato cellulare a misurare i livelli di questi nu-

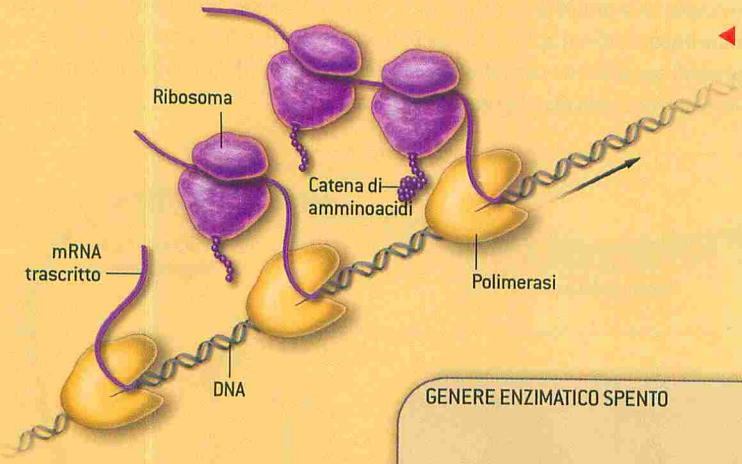
Ritenuto a lungo un umile messaggero, l'RNA potrebbe aver goduto di un grande potere

In sintesi/*Interruttori primordiali*

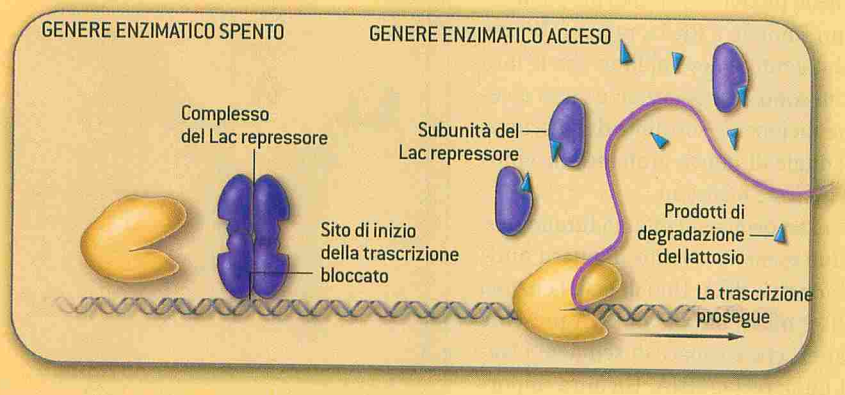
- In genere, la regolazione dell'attività genica nelle cellule spetta a supervisori di natura proteica. Ma vi sono batteri che usano l'RNA messaggero per controllare alcune preziose infrastrutture cellulari.
- L'esistenza di altre specie di RNA già note per avere un potere simile a quello delle proteine (cioè la capacità di unire o scindere altre molecole) avvalora l'ipotesi di un mondo primordiale governato dall'RNA.
- I *riboswitch*, o ribointerruttori, recentemente scoperti sono un gruppo di molecole a RNA che trasportano messaggi trascritti a partire dal DNA ma che, allo stesso tempo, hanno poteri di supervisione, e decidono se eseguire o meno le proprie istruzioni.
- I ribointerruttori regolano molti processi fondamentali nei microrganismi, rendendoli potenziali bersagli per nuovi farmaci antimicrobici.

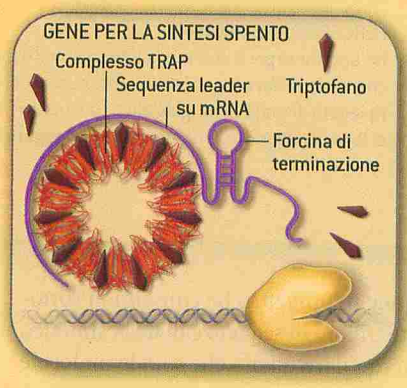
SUPERVISORI DELLE PROTEINE

Per coordinare e ottimizzare la produzione delle parti che servono ai batteri per vivere e replicarsi, di solito le cellule usano dei supervisori delle proteine in grado di bloccare la produzione di alcune molecole finché non percepiscono che sono necessarie e che ci sono le materie prime per produrle. Lo studio di questi meccanismi ha contribuito alla scoperta dei ribointerruttori.



LA FABBRICA
Linee di assemblaggio a movimento rapido spengono l'equipaggiamento cellulare sulla base di istruzioni codificate nei geni del DNA. Gli enzimi polimerasi si spostano lungo il filamento di DNA trascrivendo un gene in una copia di RNA messaggero (mRNA). I ribosomi si legano sull'mRNA nel momento in cui esso emerge e iniziano a tradurre il suo messaggio in una catena di amminoacidi che si ripiegherà su se stessa per formare una proteina compiuta.





GESTIONE DELLE SCORTE
Le proteine supervisore regolano la produzione batterica di parti essenziali attraverso diversi meccanismi (*a destra*). Il repressore Lac (*in alto*) «spegne» un gene che codifica per un enzima che scinde il lattosio bloccando l'accesso della polimerasi al DNA quando il lattosio è assente. Quando il lattosio è alto, uno dei suoi metaboliti si lega alle fessure nelle subunità di Lac, facendolo staccare dal DNA e «accendendo» il gene. TRAP regola geni coinvolti nella sintesi e il trasporto del triptofano interferendo con le copie del loro mRNA in due modi (*in basso*). Quando il triptofano è presente, TRAP avvolge intorno a sé l'estremità guida di un mRNA che codifica per la sintesi del triptofano facendo sì che una parte del filamento con il messaggio assuma una forma a forcina che termina anzitempo la trascrizione. TRAP, inoltre, sequestra la sequenza leader dell'mRNA che codifica per un trasportatore del triptofano, impedendo ai ribosomi di accedere al sito in cui inizia la traduzione di una proteina.

Tami Tolpa

trienti? La risposta è giunta dalla ricerca di applicazioni per le molecole di RNA. Ma per capire meglio la questione bisogna tornare al ribosoma.

Il mondo a RNA

Non tutto il macchinario della fabbrica che trasforma le materie prime in nuove cellule è fatto di proteine. Ancora più importante è il fatto che il ribosoma ha un nucleo composto dagli stessi nucleotidi che formano i messaggi dell'mRNA che legge. Ma benché l'RNA ribosomiale (rRNA) sia prodotto sotto forma di trascritto a partire dallo stampo di DNA, a differenza dell'mRNA non contiene istruzioni per produrre qualcos'altro. Invece l'rRNA si avvolge immediatamente in una forma ben definita, all'interno della quale alcune basi nucleotidiche si legano fra loro.

L'rRNA si ripiega su scala molto maggiore e coinvolge diverse subunità, tenute più saldamente in posizione da impercettibili cambiamenti chimici. Ma studi a risoluzione atomica hanno rivelato che il nucleo del ribosoma, cui spetta catalizzare la formazione di nuovi legami tra amminoacidi, è composto esclusivamente da RNA.

La recente conferma che si tratta di una struttura a RNA con i poteri di un catalizzatore proteico ha emozionato chi conosce la teoria sugli inizi della vita proposta alla fine degli anni settanta da Harold White, dell'Università del Delaware. White osservò che molti importanti coenzimi hanno curiose componenti a RNA nella loro struttura chimica. L'adenosilcobalamina (o coenzima B12), per esempio, contiene un intero nucleotide di RNA, mentre la tiamina pirofosfato (o coenzima B1) si porta appresso una porzione dello sche-

letro zucchero-fosfato. Questi pezzetti nucleotidici non prendono parte alla straordinaria reattività chimica dei coenzimi; sembra piuttosto che la loro funzione sia quella di fornire alle proteine un appiglio a cui legarsi. White ipotizzò che queste bizzarre strutture fossero tracce vestigiali di un'epoca primordiale in cui le protocellule non avevano ancora sviluppato i moderni sistemi di immagazzinamento del DNA o la sintesi proteica. Al contrario, l'RNA assolveva al duplice compito di molecola per conservare le informazioni e di biopolimero capace di ripiegarsi per formare apparati metabolici e di eseguire funzioni complesse oggi generalmente di competenza delle proteine. Se i ribozimi sono resti di un «mondo a RNA», ragionò White, probabilmente si deve al fatto che le loro funzioni sono così essenziali da non essere state facilmente sostituite dallo sviluppo graduale di nuove proteine che compiono le stesse mansioni.

All'inizio degli anni ottanta furono scoperti due esempi «viventi» di questi antichi elementi a RNA. Uno di essi, l'enzima RNasiP, è una molecola di RNA presente nei batteri che è capace di scindere i trascritti immaturi di RNA. Un'altra importante scoperta portò all'identificazione di sequenze di RNA che fanno l'editing di se stesse, cioè auto-maturano a partire da un trascritto di mRNA più lungo realizzando una vera e propria autoscissione mediante una serie di scambi di legame chimico. Nel 1989 Sidney Altman e Thomas R. Cech vinsero il premio Nobel per la chimica per questa scoperta, dimostrando che le molecole di RNA potevano ripiegarsi in strutture tridimensionali complesse e accelerare reazioni chimiche proprio come le proteine a funzione enzimatica.

Sensori naturali

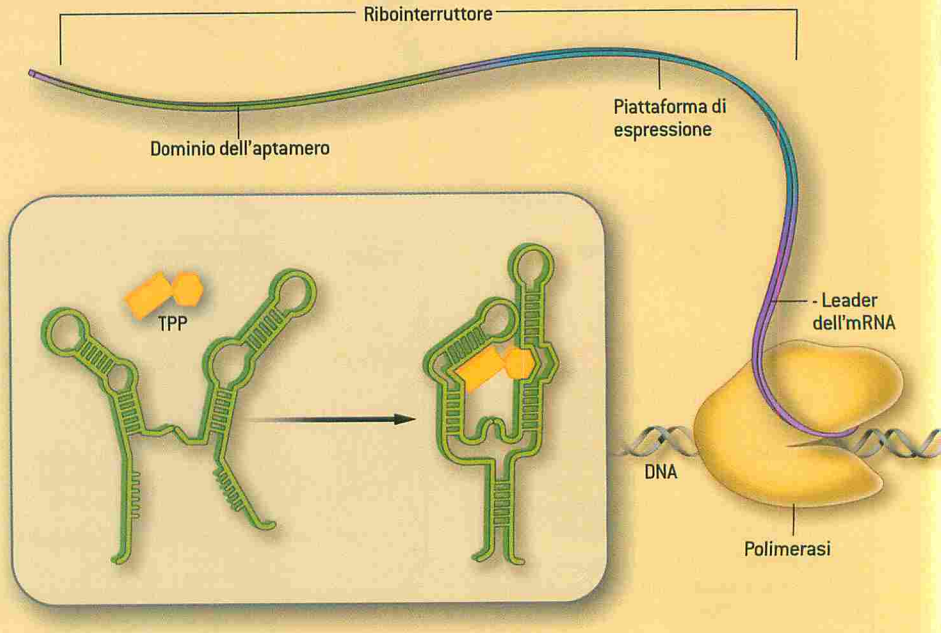
All'inizio degli anni novanta gli strumenti per manipolare le biomolecole al di fuori delle cellule viventi si erano evoluti a sufficienza da permettere di sperimentare creativamente nuovi possibili impieghi di questa capacità dell'RNA di ripiegarsi in strutture complesse e funzionali. I laboratori di Larry Gold all'Università del Colorado, di Geral Joyce allo Scripps Research Institute e di Jack W. Szostak al Massachusetts General Hospital misero a punto un metodo di simulazione dell'evoluzione in provetta che consentì di sottoporre trilioni di sequenze di RNA sintetico a un test darwiniano che solo le molecole «più adatte» sarebbero riuscite a superare. Mentre cercava una molecola di RNA capace di legarsi ad alta affinità all'adenosintrifosfato (ATP), il gruppo di Szostak scoprì immediatamente una molteplicità di brevi sequenze di RNA capaci di legarsi all'ATP, come fanno molti coloranti organici, amminoacidi e antibiotici.

Szostak chiamò queste molecole di RNA nate in laboratorio «aptameri», dal termine latino che significa «adattarsi». A dispetto delle loro origini artificiali, molti aptameri avevano una caratteristica che, in un contesto biologico, è più importante della semplice capacità di legarsi strettamente alla propria molecola bersaglio: quelle di respingere molecole dotate di una struttura tridimensionale simile.

Il nostro laboratorio si mise al lavoro per sfruttare questa elevata selettività progettando un sensore a base di RNA. Volevamo realizzare un aptamero capace di riconoscere una molecola bersaglio legandosi a essa e di legarla a un secondo segmento di RNA in grado di segnalare l'avvenuta reazione. Per quest'ultimo ruolo abbiamo scelto il ribozima a «testa di martello». Così detto per l'aspetto caratteristico della sua struttura, il ribozima a testa di martello è uno dei più semplici e più efficaci ribozimi naturali capaci di autoscissione. Potevamo, per esempio, agganciare un marcatore fluorescente a un'estremità del filamento della testa del martello, e un cosiddetto grup-

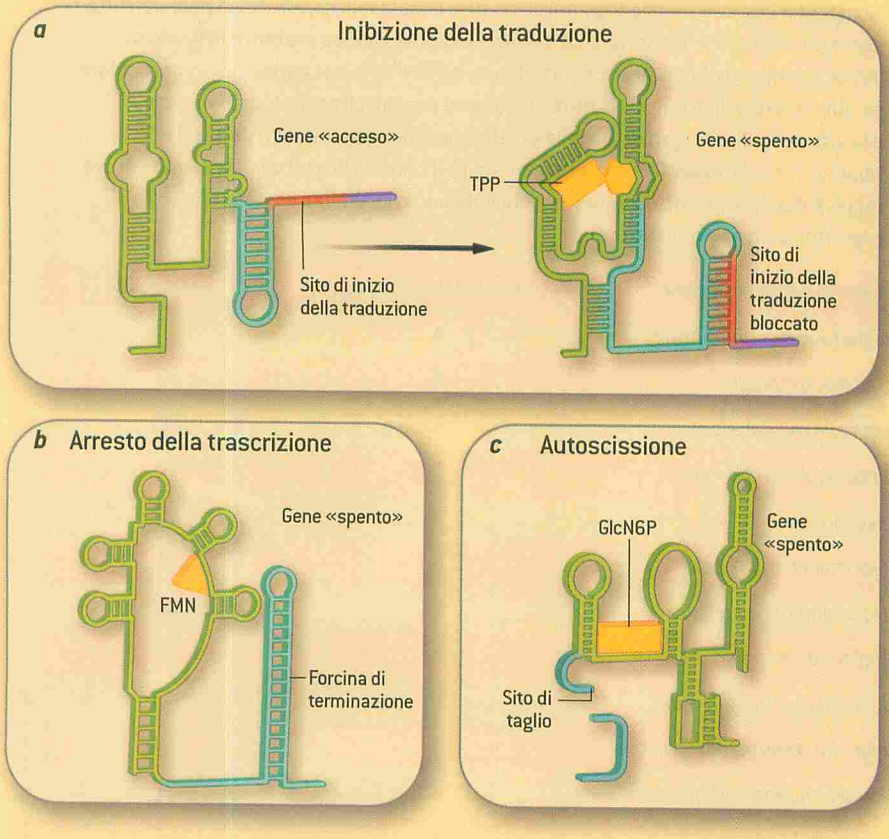
INTERRUTTORI CHE SI AUTODETERMINANO

I ribointerruttori sono segmenti presenti nell'estremità leader di un trascritto di mRNA che riescono a determinare se la cellula ha bisogno della proteina codificata dal resto del loro messaggio. Il ribointerruttore, poi, si riarrangia tridimensionalmente per controllare se la proteina viene prodotta. Pertanto questa famiglia di molecole ha due domini importanti: un aptamero che percepisce un metabolita specifico e una piattaforma di espressione che influisce sul destino dell'mRNA andando incontro a una delle molte possibili riconfigurazioni strutturali.



PERCEPIRE I METABOLITI
Un aptamero per il coenzima tiamina pirofosfato (TPP) assume una forma precisa, che viene rafforzata da legami tra i nucleotidi presenti su lati opposti del filamento ripiegato di mRNA a singola elica (*a sinistra*). Quando è presente il TPP l'aptamero vi si lega cambiando configurazione per agganciare saldamente la molecole (*a destra*).

Tami Tolpa



LE RISPOSTE DEI RIBOINTERRUTTORI

I ribointerruttori sfruttano un gran numero di strategie per controllare la produzione delle proteine. Quando il TPP è assente la piattaforma di espressione assume una forma che rende disponibile ai ribosomi il sito in cui inizia la traduzione, consentendo all'espressione delle istruzioni del gene di rimanere «accesa» (*a*). Quando il TPP è legato dall'aptamero la piattaforma di espressione forma una forcina che sequestra il sito di inizio traduzione «spegnendo» il gene (*b*). Un ribointerruttore che percepisce il coenzima flavin mononucleotide (FMN) forma una forcina di terminazione che arresta la trascrizione del suo messaggio (*c*). Un insolito ribozima la cui produzione è innescata dalla glucosamina-6-fosfato (GlcN6P) scinde se stesso.

po repressore che smorza la fluorescenza nelle immediate vicinanze all'interno della struttura ripiegata dell'RNA. Una volta che l'estremità dell'aptamero così costruito avesse trovato la molecola bersaglio e vi si fosse legata, l'autoscissione operata dalla testa del martello avrebbe separato il gruppo repressore dal marcatore fluorescente, che si sarebbe illuminato come se fosse stato tolto uno schermo.

L'RNA si è rivelato così abile nello svolgere la funzione di sensore che, in seguito, siamo riusciti a sviluppare ribozimi accoppiati ad aptameri capaci di percepire e di rivelare la presenza di una gran varietà di molecole. Siamo poi riusciti a disporre ordinatamente in strati la nostra collezione di sensori su un microchip e a usarla per individuare con precisione molti composti chimici diversi simultaneamente, anche all'interno di una miscela complessa.

In effetti, la facilità con cui siamo riusciti a creare RNA capaci di percepire la presenza di piccole molecole e di trasdurre quel legame in un riarrangiamento deliberato della loro struttura ci ha spinto a chiederci se anche l'evoluzione naturale avesse creato RNA simili. I ribozimi sopravvissuti dal mondo a RNA stavano chiaramente svolgendo compiti essenziali negli organismi moderni. Forse che nei genomi moderni erano nascoste sequenze non ancora scoperte che codificavano per altre importanti strutture a RNA?

Le nostre ricerche ci portarono al mistero dei batteri e delle loro vitamine. Trovammo uno studio che citava la proteina BtuB, una delle strutture necessarie al batterio *Escherichia coli* per importare il coenzima B12 all'interno della sua cellula. Il trascritto di RNA messaggero che codifica per BtuB inizia con un'imponente sequenza leader di 240 nucleotidi che non codificano per alcuna proteina. La maggior parte delle sequenze leader degli mRNA batterici contiene meno di 50 nucleotidi, per cui quella straordinaria lunghezza fu il primo indizio del fatto che potesse avere una funzione insolita. Un altro gruppo di ricerca aveva anche già dimostrato che la produzione della proteina BtuB veniva inibita quando la concentrazione di B12 nella cellula era elevata. Eppure non era stata scoperta alcuna proteina sentinella in grado di percepire B12.

Sapevamo inoltre che la presenza di B12 impediva ai ribosomi di legarsi all'mRNA di BtuB. Un esperimento aveva anche suggerito che in presenza di B12 si verificava una sorta di cambiamento molecolare nella sequenza leader dell'mRNA. Era possibile che la lunga sequenza leader dell'RNA di BtuB contenesse un aptamero naturale in grado di legarsi a B12, che regolava l'espressione delle istruzioni codificate nel suo stesso gene?

Per scoprirlo abbiamo usato una tecnica detta *in-line probing*, che serve a mappare le porzioni dell'RNA messaggero di BtuB che stavano diventando più strutturate o flessibili in presenza di B12, e abbiamo scoperto che vicino all'inizio della regione di mRNA che codifica per BtuB si formava un nuovo elemento. Questa struttura poteva spiegare l'inibizione del legame ribosomiale. Sembrava che l'RNA stesso percepisse B12 e che ne regolasse il trasporto allo stesso modo in cui TRAP regola il messaggio che codifica per il trasportatore del triptofano in *B. subtilis*, impedendo al ribosoma di tradurlo. Per cui abbiamo chiamato «ribointerruttore» questa molecola di RNA capace di attivare e disattivare l'espressione genica.

Mentre stavamo studiando la regione leader di Btub, un altro caso di regolazione inspiegabile ha attirato la nostra attenzione. Ricerche precedenti avevano determinato che gli mRNA che codificano per enzimi di sintesi e per i trasportatori per il coenzima B1 in diversi gruppi di batteri contenevano tutti una stringa comune di RNA, e che le mutazioni che colpivano questa regione interrompevano la normale repressione di questi geni nelle

cellule che avevano accumulato quantità sufficienti di B1. In *E. coli*, l'mRNA di un operone che codifica per due enzimi della biosintesi ha una regione leader che contiene questa sequenza vicino al sito in cui inizia la traduzione della prima proteina. Abbiamo dimostrato che B1 induceva in questo mRNA un cambiamento strutturale tale che il sito di legame per il ribosoma risultava strettamente sigillato. In seguito abbiamo determinato che un dominio più piccolo, composto da 91 nucleotidi, situato all'interno della sequenza leader poteva legarsi a B1.

Così, avevamo scoperto almeno due mRNA in grado di controllare le condizioni cellulari e di decidere in autonomia se gli apparati proteici per cui codificano sono necessari o no, senza che debba intervenire alcun supervisore proteico. Queste «fotocopie» non erano messaggi passivi: si ripiegavano come origami indemoniati scegliendo il proprio destino.

Questi due, in particolare, si sono rivelati ben più che semplici curiosità biologiche. Una sequenza di RNA conservata in batteri imparentati con *B. subtilis* si è rivelata essere un ribointerruttore che riconosce il coenzima S-adenosilmetionina (SAM). Un altro ribointerruttore era costituito da un elemento a RNA la cui presenza è una costante nei messaggi che dirigono la sintesi e il trasporto del coenzima flavin mononucleotide (vitamina B2). Una sezione dell'mRNA che si pensava codificasse per una proteina di controllo per la lisina in *E. coli* è risultata essere una porzione di un aptamero lisinico complesso che regolava la sintesi di questo amminoacido in un'ampia gamma di batteri. I ribointerruttori, insomma, erano una forma di controllo genetico diffusa.

Principi generali

Finora è stata identificata una dozzina di classi di ribointerruttori, definiti dalle loro strutture aptameriche, e benché abbiano caratteristiche variabili e anche diversi meccanismi d'azione sono emersi alcuni principi generali.

I ribointerruttori sono trascritti di mRNA capaci di regolare l'espressione del loro stesso gene controllando se il messaggio che contengono è tradotto in una proteina, o se viene distrutto senza mai essere stato letto da un ribosoma. Il ribointerruttore svolge questa funzione controllando se la cellula ha bisogno della proteina per cui esso codifica (grazie alla sua capacità di percepire un metabolita bersaglio) e alterando di conseguenza la propria configurazione. Perciò un ribointerruttore ha due regioni importanti: il dominio aptamerico che gli consente di percepire il metabolita, e la sequenza regolatrice per la «piattaforma di espressione».

L'aptamero fa da recettore complesso per una specifica piccola molecola di metabolita, e in tutti i membri di una stessa classe il nucleo della struttura aptamerica è identico, persino tra organismi distanti dal punto di vista evolutivo. La struttura delle piattaforme di espressione dei ribointerruttori, che possono comprendere una parte del dominio aptamerico, contiene le sequenze che riarrangiano la propria struttura per influire sull'espressione genica (*si veda il box a pp. 100-101*). Entrambi i ribointerruttori B12 e B1 che scoprimmo all'inizio hanno piattaforme di espressione che impediscono l'inizio della traduzione disponendosi nello spazio in modo da mascherare le sequenze di cui il ribosoma necessita per riconoscere un ordine di lavoro valido. Altri casi di ribointerruttori che contengono questi stessi aptameri hanno piattaforme di espressione che determinano l'arresto prematuro della trascrizione del messaggero formando delle forcine di terminazione.

Via via che scoprivamo nuove peculiarità dei ribointerruttori iniziavamo ad apprezzare la grande cura con cui l'evoluzione aveva bilanciato gli ingranaggi dei loro meccanismi. Il riconoscimento dei metaboliti all'interno delle cellule, per esempio, deve avvenire tra la manciata di secondi che servono all'RNA polimerasi per proce-

Possibili bersagli

Molti batteri, tra cui i patogeni umani elencati in questa tabella, sfruttano ribointerruttori per controllare l'attività dei loro stessi geni. Di conseguenza sostanze in grado di innescare questi ribointerruttori potrebbero servire da nuovi antibiotici, in particolare se riuscissero a distruggere la funzione di geni essenziali per la sopravvivenza e la virulenza di un organismo. Nella tabella sono indicati il numero di classi di ribointerruttori trovate in ciascun organismo e il numero di geni che sappiamo essere regolati dai ribointerruttori. Gli asterischi indicano che almeno un gene vitale è regolato da un ribointerruttore.

Batterio patogeno umano	Classi di ribointerruttori	Geni regolati
Acinetobacter baumannii	4	6
Bacillus anthracis	9	82
Brucella melitensis	5	21*
Enterococcus faecalis	7	17
Escherichia coli	4	15*
Francisella tularensis	4	8
Haemophilus inluenzae	5	15*
Helicobacter pylori	1	2
Listeria monocytogenes	9	49
Mycobacterium tuberculosis	3	13
Pseudomonas aeruginosa	3	27
Salmonella enterica	3	34*
Staphylococcus aureus	8	30*
Streptococcus pneumoniae	5	19
Vibrio cholerae	5	13
Yersinia pestis	3	11

Fonte: Kenneth F. Blount e Ronald R. Breaker, Yale University

dere lungo una sequenza leader sull'mRNA e l'istante in cui i ribosomi vi si legano e iniziano la traduzione. Così il fattore decisivo che determina se un ribointerruttore può percepire il suo bersaglio è la velocità di reazione, non la lunghezza della sequenza. Sequenze di sincronizzazione fra l'aptamero e la piattaforma di espressione, che fanno sì che l'RNA polimerasi si arresti brevemente, sono talvolta necessarie per introdurre ritardi che danno all'aptamero il tempo di catturare un metabolita e riarrangiare la sua piattaforma di espressione.

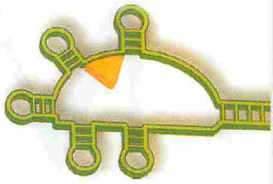
Quando abbiamo iniziato a esaminare genomi batterici alla ricerca di altri ribointerruttori abbiamo trovato altre sorprese ancora: un ribointerruttore dotato di un doppio aptamero e un altro che funzionava attivando l'espressione genica invece di spegnerla. Nel solo genoma di *B. subtilis* abbiamo identificato otto nuove sequenze che mostrano i segni distintivi dei ribointerruttori. Una di queste, come è emerso in seguito, non era un semplice ribointerruttore, ma un ribozima innescato da un metabolita. Invece di andare incontro a una riconfigurazione strutturale, la piattaforma di espressione di questa molecola si autoscindeva: in sostanza, si autodistruggeva prima che il suo messaggio potesse essere tradotto.

Negli organismi pluricellulari è stata osservata finora solo una classe di ribointerruttori: le altre, per quanto ne sappiamo, si trovano solo nei batteri. I genomi degli eucarioti hanno meccanismi di regolazione genetica più complicati dei batteri, e anche l'insieme di reazioni che portano dal DNA alle proteine è più tortuoso. Invece di essere ordinate fotocopie di mRNA, i trascritti primari di un gene eucariote hanno spesso ingombranti porzioni di sequenze, gli introni, che non codificano per alcuna proteina, le quali, prima che il messaggio sia tradotto, devono subire un processo di rimozione: il cosiddetto *splicing*. Abbiamo trovato un ribointerruttore nella «sala di montaggio».

L'aptamero del coenzima B1 è presente nelle sequenze introniche all'interno degli operoni che regolano la sintesi della tiamina in molti funghi e piante, riso compreso. Quando sono legati a B1 sembra che questi ribointerruttori determinino un riarrangiamento della struttura dell'RNA attorno alle giunzioni introne/esone, impedendo la prosecuzione dello splicing.

I dettagli della reazione non sono chiari, ma è probabile che questo evento identifichi il messaggio intero (mRNA) come elemento da eliminare, o che gli impedisca di essere spostato verso la regione cellulare corretta dove andrebbe tradotto. L'aspetto affascinante è la scoperta che anche un noto farmaco antifungino si lega al ribointerruttore B1. In base alle prove disponibili, sembra che così facendo inganni il fungo inducendolo a credere che ci sia una quantità sufficiente di B1, reprimendo la sua ulteriore sintesi. Dato che i funghi non hanno questo importante nutriente la loro crescita viene rallentata e alla fine possono morire per grave carenza. Come mostra questo esempio, dal momento che regolano in modo così essenziale l'approvvigionamento di nutrienti fondamentali in una gamma di batteri, i ribointerruttori sono anche allettanti bersagli per nuovi antibiotici.

Quelle «fotocopie» si ripiegavano come origami **scegliendo autonomamente il proprio destino**



Oggi sappiamo che varie patologie umane dipendono da come i ribointerruttori regolano diversi metaboliti importanti (*si veda il box a fronte*). Molti ricercatori stanno cercando di trovare molecole in grado di ingannare gli aptameri dei ribointerruttori batterici, scatenando così una risposta genica regolatrice dannosa per i microrganismi. Alcuni gruppi stanno anche indagando sull'uso di ribointerruttori artificiali per controllare i geni all'interno delle cellule viventi: per esempio nel contesto della terapia genica. Entrambe queste tecniche sono ancora in fase assai precoce di sperimentazione.

Eppure la sensazione generale di sorpresa ed eccitazione ispirata dai ribozimi, e gli sforzi computi per applicare queste antiche molecole a usi moderni ha trovato nuova linfa grazie all'esistenza stessa dei ribointerruttori. A farci compagnia oggi sembrano rimasti solo piccoli frammenti del perduto mondo a RNA, che hanno resistito tenacemente nei moderni organismi. Ma vien fatto di chiedersi se i ribointerruttori sono davvero gli estremi resti del mondo a RNA, o se nei macchinari molecolari delle cellule moderne, incluse quelle umane, vi siano altre molecole primordiali in attesa di essere scoperte. LS

GLI AUTORI

RONALD R. BREAKER e JEFFREY E. BARRICK hanno studiato assieme gli interruttori a RNA naturali e artificiali alla Yale University. Il gruppo di Breaker, che ha scoperto i ribointerruttori, sta continuando a indagare la natura e gli usi di molecole di DNA e RNA dotate di proprietà catalitiche o della capacità di agire da controllori dei geni all'interno delle cellule. Barrick, che è postdoc in biologia evoluzionistica alla Michigan State University, sta studiando le origini della vita ed è impegnato nella creazione di ribointerruttori artificiali e nello studio di metodiche per usare i ribointerruttori naturali degli organismi patogeni come bersagli terapeutici.

PER APPROFONDIRE

WINKLER W., NAHVI A. e BREAKER R., *Thiamine Derivatives Bind Messenger RNAs Directly to Regulate Bacterial Gene Expression*, in «Nature», Vol. 419, p. 952-956, 31 ottobre, 2002.

SUDARSAN N., BARRICK J. E. e BREAKER R., *Metabolite-Binding RNA Domains Are Present in the Genes of Eukaryotes*, in «RNA», Vol. 9, n. 6, p. 644-647, giugno 2003.

BLOUNT K. F. e BREAKER R., *Riboswitches as Antibacterial Drug Targets*, in «Nature Biotechnology» (in stampa).

ORGEL LESLIE E., *L'origine della vita sulla Terra*, in «Le Scienze», n. 316, pp. 54-64, dicembre 1994.

Mente & cervello

IL MENSILE DI PSICOLOGIA E NEUROSCIENZE

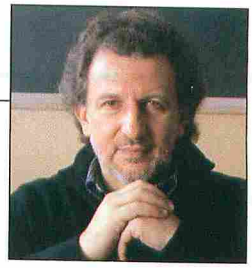
IN COPERTINA. Perché non sappiamo resistere al richiamo di un hot dog o di un vassoio di pasticcini anche se sappiamo che ci fa male? La risposta è nel nostro cervello, che a volte tratta il cibo come se fosse una droga.

L'ITALIA SENZA PENSIERI. Intervista con Francesco Piccolo: tra Mirabilandia e Domenica In, tra il film di Natale e gli autogrill affollati dell'esodo, il viaggio di uno scrittore nei luoghi dove gli italiani consumano la fuga dalla vita reale.

500 PSICOTERAPIE SOTTO ESAME. Psicoanalisi classica o debriefing psicologico? Terapia comportamentale o trattamento energetico? Tra gli oltre 500 tipi di psicoterapia conosciuti, ecco quali hanno superato la prova della scienza. E quali no.

QUANDO SCOPPIA LA TESTA. Prima un dolore insostenibile, poi insofferenza alla luce e al rumore, nausea… Sono i sintomi di un attacco di emicrania, una malattia che colpisce milioni di persone ma spesso è trattata come un banale mal di testa.

È IN EDICOLA IL NUMERO DI APRILE



di Piergiorgio Odifreddi

Professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)

Buon compleanno, Eulero!

Il 15 aprile 2007 ricorre il terzo centenario della nascita di Leonhard Euler, noto come Eulero, il più grande matematico del Settecento e uno dei quattro o cinque più grandi della storia (insieme ad Archimede, Newton, Gauss e un moderno a piacere). Le sue innumerevoli opere spaziano dalle *Lettere a una principessa tedesca*, meraviglioso e tuttora ineguagliato libro di divulgazione, all'*Introduzione all'analisi infinitesimale* (del 1784), definito da Boyer: «Il libro di testo più importante dei tempi moderni», sullo stesso livello degli *Elementi* di Euclide e della *Geometria* di Cartesio. Ma sono state soprattutto le sue acrobazie intellettuali a lasciare un segno nella storia della matematica, spesso aprendo nuovi campi di indagine: non c'è dunque modo più appropriato di ricordare lui che ricordando qualcuna di esse, in maniera idiosincratica.

www.mathematik.de

Il risultato che più contribuì a creare la fama di Eulero fu la determinazione, nel 1735, della somma degli inversi dei quadrati degli interi. Poiché un polinomio si può scomporre nel prodotto dei termini ottenuti sottraendo dall'incognita le sue radici, egli immaginò che si potesse fare lo stesso con le somme infinite, e applicò l'idea alla serie di potenze del seno, trasformandola nel prodotto infinito di termini ottenuti sottraendo dall'incognita le sue «radici», cioè i punti (multipli interi di π) in cui il seno si annulla. Moltiplicando i fattori del prodotto infinito si riottiene una somma infinita, e uguagliando i coefficienti dei vari termini con quelli della serie di partenza si determina non soltanto la somma degli inversi dei quadrati degli interi, ma più in generale la somma degli inversi delle loro potenze pari (in funzione della corrispondente potenza di π e dei «numeri di Bernoulli»).

Eulero trovò nel 1737 un'altra notevole applicazione dello stesso trucco, dando una nuova dimostrazione dell'infinità dei numeri primi, già dimostrata in maniera diversa da Euclide negli *Elementi* (IX, 20), basata questa volta sul prodotto infinito corrispondente alla somma degli inversi degli interi: la continuazione analitica di questo prodotto, esteso a potenze qualunque degli interi, divenne poi la famosa «funzione zeta», di cui l'indimostrata ipotesi di Riemann stabilisce la parte reale degli zeri diversi da quelli già determinati da Eulero. Tra parentesi, una versione finitaria della stessa idea permise a Eulero di dimostrare che la condizione sufficiente notata da Euclide affinché un numero pari sia perfetto è in realtà anche sufficiente e caratterizza i numeri perfetti pari, risolvendo così un millenario problema.

Un'altra famosa funzione dell'analisi, la funzione gamma, deriva anch'essa da un suo lavoro del 1729, dedicato questa volta all'estensione del fattoriale dagli interi ai reali e ai complessi: l'idea è semplice, e consiste nel notare che il fattoriale di n, cioè il prodotto finito degli interi da 1 a n, si può riscrivere come un prodotto infinito, moltiplicando e dividendo prima per $n+1$, poi per $n+2$, e così via. Il vantaggio è che, mentre il prodotto finito ha senso solo per valori interi di n, il corrispondente prodotto infinito ha senso per numeri qualunque, e definisce appunto la funzione gamma, permettendo per esempio di calcolare fattoriali esotici come quello di 1/2.

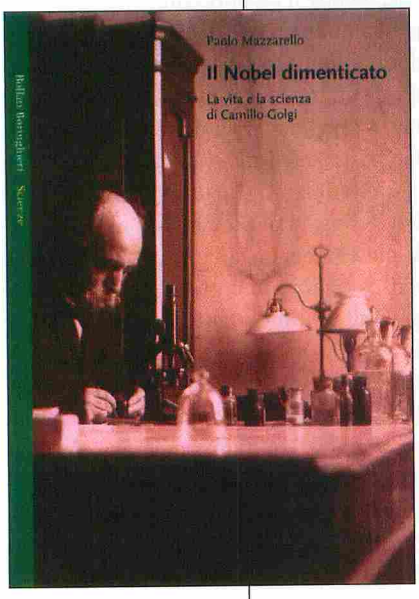
La formula a cui è legato il nome di Eulero, considerata anche la più bella della matematica, è la famosa $e^{i\pi}+1 = 0$, che unisce tra loro in un misterioso legame le più importanti costanti della matematica: in realtà, però, essa è solo un caso particolare della formula $e^{ix} = \cos x + i \operatorname{sen} x$ del 1748, che lega l'esponenziale immaginario alle funzioni trigonometriche. Entrambe le formule mostrano un uso immaginifico dei numeri complessi, tipico di Eulero: considerando combinazioni lineari a coefficienti interi della radice quadrata di –3, per esempio, riuscì a dimostrare nel 1753 il teorema di Fermat per l'esponente 3, sollevando problemi e suggerendo estensioni che portarono infine al concetto di ideale.

Il nome di Eulero è associato a innumerevoli varietà di concetti matematici: teoremi e congetture, formule, regole, identità, equazioni, disuguaglianze, polinomi, integrali, trasformazioni, costanti, parametri, caratteristiche, numeri, punti, rette, angoli, triangoli, cammini. A testimonianza della vista d'aquila intellettuale di un matematico che aveva perso la vista fisica a poco più di trent'anni.

L'uomo che non scoprì il neurone

IL NOBEL DIMENTICATO. La vita e la scienza di Camillo Golgi
di Paolo Mazzarello
Bollati Boringhieri, Torino, 2006, pp. 660 (euro 40,00).

di Mauro Capocci



Camillo Golgi vinse il premio Nobel nel 1906 per la scoperta della cosiddetta «reazione nera», una tecnica basata sull'uso di sali d'argento che permetteva di colorare in modo selettivo le cellule nervose nei preparati anatomici. Grazie a questo metodo, nel microscopio apparivano nitidi i contorni delle fibre del sistema nervoso, e si poteva studiarne con relativa facilità la struttura.

In questo testo Paolo Mazzarello mette in atto un'operazione simile: estrae selettivamente tutto ciò che parla di Golgi da una massa enorme di fonti archivistiche, testi editi e testimonianze orali, fino a ricostruire la traiettoria personale e scientifica di questo personaggio centrale per le scienze contemporanee e troppo spesso «dimenticato», come avverte già il titolo. Già, perché raramente quando si pensa agli «illustri» della scienza italiana si arriva fino a Golgi: un po' per lontananza nel tempo – il Nobel risale a più di un secolo fa, e la scoperta della reazione nera è del 1873 – ma anche per la vicenda che lo vide protagonista proprio relativamente al premio dell'Accademia svedese.

Il riconoscimento, infatti, arrivò dopo una lunga disputa con lo spagnolo Santiago Ramón y Cajal. Questi aveva infatti usato il metodo di Golgi per studiare l'anatomia del sistema nervoso, e dopo alcuni primi screzi relativi alla priorità di alcune scoperte, apparve chiara la disparità di interpretazione che divideva i due grandi scienziati. Golgi sosteneva infatti che i neuroni fossero fisicamente uniti tra loro, a formare un'unica grande rete, non solo funzionale ma anche anatomica. Cajal era invece convinto, a ragione, che il tessuto nervoso fosse discontinuo, e che i neuroni fossero entità separate tra loro (la cosiddetta *teoria del neurone*): «una *teoria interpretativa* "globalista" per l'italiano, "individualista" per Ramón y Cajal» (p. 353), in un ennesimo scontro tra visioni oliste e riduzioniste nello studio delle scienze della vita.

La polemica continuò per diversi anni, pendendo sempre più a favore dello spagnolo. Golgi però non si arrese, e quando nel 1906 tenne la prolusione per il premio Nobel a Stoccolma, si esibì in un aspra critica contro Cajal. Una mossa non solo sbagliata dal punto di vista scientifico, ma anche percepita come un'inelegante mancanza di rispetto per quella stessa Accademia che stava premiando i due scienziati, e che «ebbe anche l'effetto di favorire la fine del suo mito e l'inizio del suo oblio» (p. 8).

Se l'assegnazione del premio Nobel è spesso dimenticata, altrettanto non si può dire di altre sue scoperte, e in particolare quella dell'*apparato di Golgi*, un organello intracellulare adibito al trattamento delle molecole prodotte dalla cellula prima del loro impiego. Ciò fa di Golgi un nome citatissimo nella letteratura, anche se l'origine non sempre è nota: gustoso l'aneddoto citato nell'introduzione: «cosa significa *golgus*?», chiede lo studente americano al professore italiano che sa di latino a proposito del *Golgi complex*.

La dettagliatissima biografia di Mazzarello non lascia insoddisfatta alcuna curiosità. Con minuzia sono ricostruiti i legami intellettuali e l'ambiente socio-culturale in cui Golgi visse, con particolare attenzione alle vicende storiche dell'Università di Pavia dove Golgi fece gran parte dei suoi studi, che non si limitarono alla neuroanatomia. La sua grande abilità di microscopista e di sperimentatore contribuì per esempio al chiarimento dei meccanismi eziopatologici dell'infezione malarica, mostrando la stretta correlazione tra gli accessi febbrili e la riproduzione del plasmodio (il protozoo responsabile della malattia) nel sangue dei pazienti. Il racconto non si limita comunque alle vicende scientifiche, ma esplora ogni aspetto della vita di Golgi (che ricoprì per 26 anni la carica di senatore) anche con episodi al limite del pettegolezzo, che hanno comunque il merito di colorare una narrazione complessa ma mai noiosa.

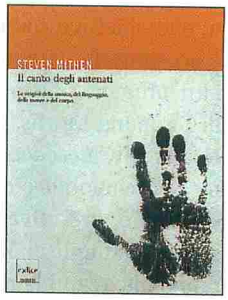
PER UN FUTURO EQUO. Conflitti sulle risorse e giustizia globale

a cura di Wolfgang Sachs e Tilman Santarius
Feltrinelli, Milano, 2007, pp. 296 (euro 28,00).

La crisi ecologica e quella sociale sono strettamente connesse e, nell'era della globalizzazione e del cambiamento climatico lo sfruttamento delle risorse naturali è uno dei principali fattori di equità a livello mondiale: lo spiega il nuovo lavoro del Wuppertal Institut tedesco, uno dei maggiori *think tank* dell'ambientalismo globale. La partecipazione del sociologo Wolfgang Sachs garantisce al volume un'attenzione meticolosa agli effetti sociali del rapporto tra Nord e Sud del mondo, tra paesi consumatori e aree di marginalità economica ed ecologica. Il risultato è un rapporto che si concentra sulle risorse: scarse, preziose, indispensabili e diffuse in modo ineguale. La distribuzione di petrolio, acqua, terreni coltivabili è causa di conflitti economici che spesso si trasformano in guerre. Anche per questo un mondo più equo non può prescindere da un'efficace politica delle risorse. Le soluzioni proposte non possono che passare per una drastica riduzione del consumo di risorse da parte dei paesi ricchi, e una loro ridistribuzione a favore di quelli poveri. Una partita da giocare a livello globale, che potrebbe trovare una guida in un'Europa che entri nel mercato dell'equità usando tutto il suo «potere simbolico ed economico» per diffondere il suo modello di «laboratorio per un benessere sostenibile» e dare impulso a una politica giusta sull'uso delle risorse naturali. È quello che sta cercando di fare, tra mille difficoltà e contraddizioni, con il suo impegno per il successo del Protocollo di Kyoto. *Alessandro Delfanti*

IL CANTO DEGLI ANTENATI

di Steven Mithen
Codice Edizioni, Torino, 2007, pp. 412 (euro 32,00).



La musica è un elemento proprio di tutte le culture umane. Strumenti musicali, canti e danze rituali fanno parte di tutte le società, da quelle moderne alle più primitive. E l'enorme diffusione delle abilità musicali ha fatto ipotizzare che questa capacità avesse un ruolo evolutivo. Ma quale può essere stato il vantaggio selettivo offerto dalla musica ai nostri antenati? Steven Mithen, archeologo cognitivo dell'Università di Reading, prova a formulare una teoria molto accattivante, secondo la quale i primi ominidi comunicavano attraverso un linguaggio musicale, un miscuglio tra il linguaggio e la musica come li intendiamo noi oggi. Secondo Mithen, questa forma di comunicazione avrebbe toccato l'apice nei neandertaliani. Che avevano una configurazione delle alte vie respiratorie che avrebbe consentito loro di parlare, ma non disponevano dei circuiti nervosi deputati al controllo del linguaggio. Le difficili condizioni ambientali in cui vivevano e la crescente complessità dei loro gruppi sociali richiedevano uno scambio continuo di informazioni, e quindi si sviluppò un sistema di comunicazione articolato che includeva sia suoni sia gesti del corpo. Probabilmente anche i primissimi *Homo sapiens* comunicavano in questo modo, ma lo sviluppo del cervello consentì loro di evolvere un linguaggio. L'ipotesi di Mithen è necessariamente di natura speculativa, ma le prove indirette che porta a suo sostegno sono numerose e convincenti. *Giovanni Mirabella*

Roma: 10 in matematica

Ogni tanto arriva anche una buona notizia. E quella che è arrivata dal **Festival della matematica** svoltosi a Roma dal 15 al 18 marzo va davvero al di là delle più rosee aspettative. Saranno stati i nomi dei partecipanti (da Douglas Hofstadter a Michael Atiyah, passando per Dario Fo, Nicola Piovani e Benoit Mandelbrot, con John Nash per il gran finale...), sarà stato il fascino intramontabile dei numeri, ma è un fatto che 53.000 presenze in quattro giorni (e una coda interminabile per la conferenza di Nash) testimoniano la curiosità di un pubblico vasto e variegato, che comprendeva studenti e insegnanti, ma anche artisti, architetti, appassionati di ogni genere. Un successo che dimostra ancora una volta il buon momento della divulgazione scientifica.

Il nucleare in Italia, oggi e cinquant'anni fa

A marzo dello scorso anno, l'Accademia delle Scienze, detta dei XL, ha organizzato a Roma un convegno di due giorni dedicato a *L'uso pacifico dell'energia nucleare da Ginevra 1955 ad oggi: il caso italiano*. L'occasione era il cinquantenario di quella Conferenza di Ginevra che diede il via allo sviluppo delle tecnologie per il nucleare civile, e che in Italia coincise con una fase di grande vivacità in tema di energia atomica. Ma a dispetto del taglio storico del titolo, gli oltre 30 esperti intervenuti al convegno sono entrati nel merito dei problemi del sistema energetico italiano di oggi e quindi dell'estrema attualità del dibattito sul ritorno al nucleare. Un dibattito difficile, circondato da polemiche e da scarsa, o cattiva, informazione, che fa paura ai politici di entrambi gli schieramenti. Ben venga quindi la decisione di pubblicare ora gli atti del convegno (consultabili anche on line, al sito www.accademiaxl.it) come contributo di riflessione ma soprattutto di informazione su un tema centrale per il futuro del paese. (*cdg*)

Un animale unico, ma non troppo

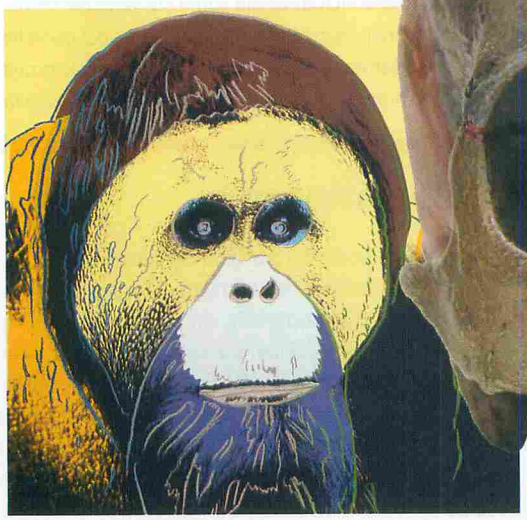
di Adriana Giannini

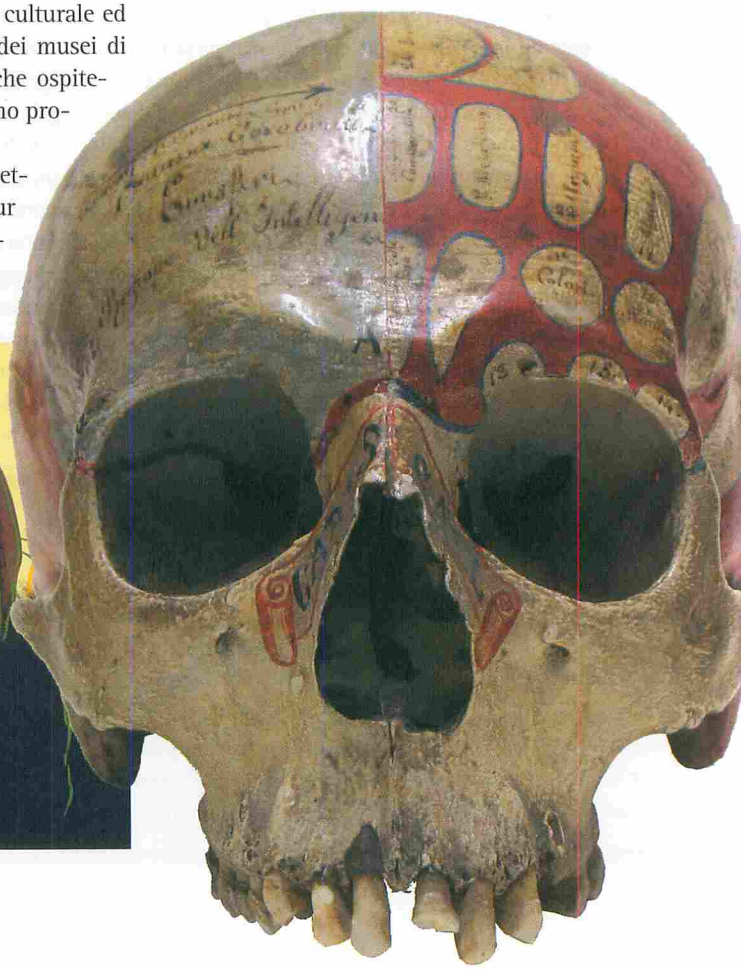
Quando, giusto trent'anni fa, Desmond Morris pubblicava il suo provocatorio *The Naked Ape* (tradotto in italiano con l'ancora più provocatorio *La scimmia nuda*, visto che la nostra lingua non dispone di un termine specifico per le scimmie antropomorfe) il successo fu clamoroso. Dieci milioni di copie vendute e 23 traduzioni in altrettanti paesi convinsero l'ex curatore dei mammiferi allo zoo di Londra a dedicarsi a tempo pieno allo studio e alla divulgazione del significato sociale del comportamento di uomini e animali.

Scegliendo questo stesso titolo per la nuova, grande mostra di quest'anno, il Museo tridentino di scienze naturali si propone fondamentalmente due obiettivi: indurre i visitatori a riconoscere e accettare la parentela di *Homo sapiens* con gli altri primati e bissare il successo del best seller di Desmond Morris. Ed è probabile che li centrerà, visti le precedenti esperienze del museo con mostre temporanee di grande respiro culturale ed espositivo, la fattiva collaborazione dei musei di scienze naturali di Torino e Udine (che ospiteranno più avanti la mostra) e l'impegno profuso per l'allestimento.

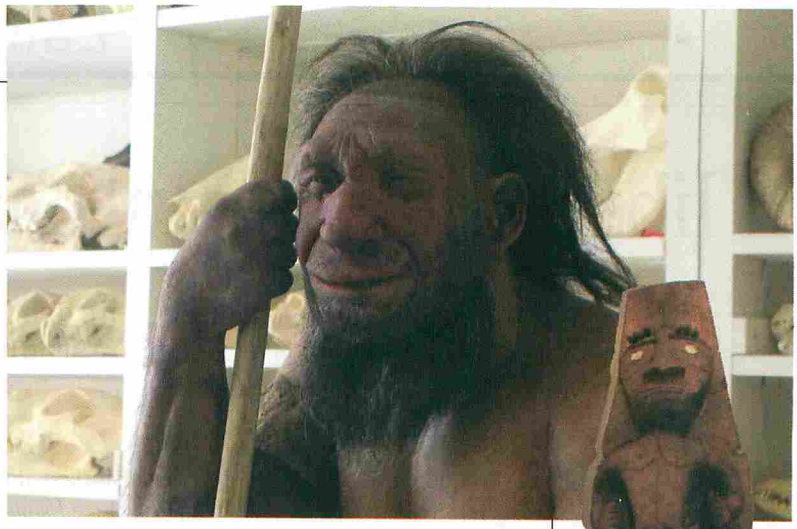
Un allestimento per il quale il direttore del museo Michele Lanzinger, pur avvalendosi di un prestigioso comitato scientifico internazionale – costituito da Guido Barbujani, Camperio Ciani, Aldo Fasolo, Giacomo Giacobini, Giuseppe Leopardi, Giorgio Manzi, Telmo Pievani, Jean-Jacques Hublin, Frans de Waal, Ian Tattersall, nonché dallo stesso Morris e dall'eclettico Jared Diamond, colui che ha definito l'uomo «terzo scimpanzé» – si è affidato a un gruppo di giovani comunicatori scientifici guidati da Claudia Lauro. Con il risultato di realizzare un incontro inedito tra arte e scienza, tradizione museografica e interattività, installazioni che entusiasmeranno i bambini e altre che stupiranno anche gli adulti, come la *Human Race Machine*, la macchina creata dall'artista americana Nancy Burson che, grazie a un complesso software, trasforma il viso di ogni visitatore facendogli assumere le caratteristiche di altre etnie.

Ma proviamo a fare un rapido giro attraverso una mostra che occupa tre piani del museo, oltre a un'originale sezione collocata nell'interrato – forse per evitare imbarazzanti domande agli inse-





UN GRANDE CERVELLO. A destra in questa pagina, un cranio umano basato sulle misure frenologiche di Joseph Gall e Carl Gustav Carus. L'orangutan, il rinoceronte nero e la zebra in basso sono opere del ciclo *Endangered species series* di Andy Warhol (1983). A fronte, in alto a sinistra una femmina di orangutan con il suo cucciolo, e a destra una ricostruzione dell'uomo di Neanderthal. All'estrema destra, una scultura in legno della Nuova Guinea a soggetto erotico.

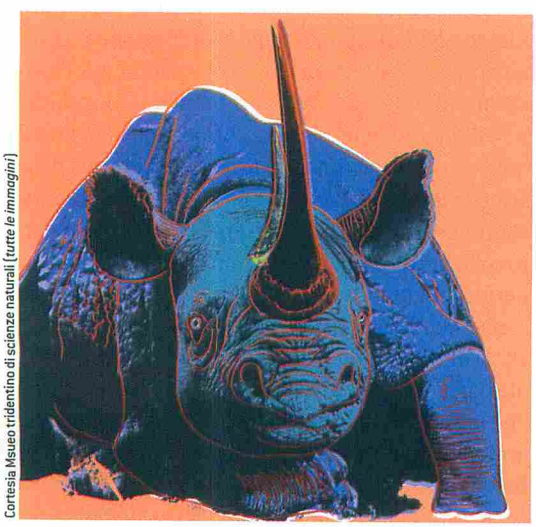


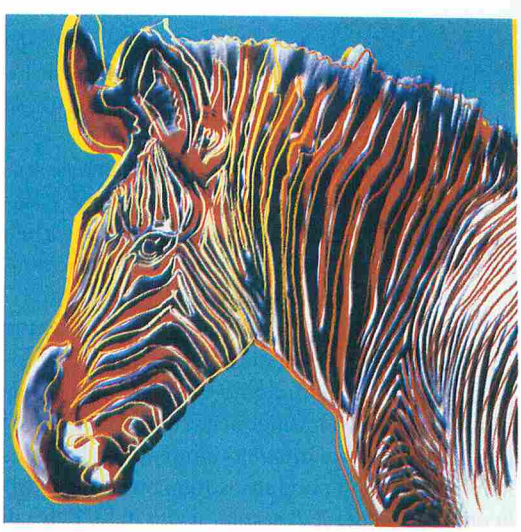
gnanti delle elementari? – dedicata alla sessualità umana, fattore misconosciuto ma determinante dell'evoluzione della nostra specie.

La prima parte, dedicata all'«animale uomo», introduce al nostro legame di parentela genetica e comportamentale con le scimmie antropomorfe, per farci poi conoscere l'intricato cespuglio di ominidi – tutti presenti sotto forma di calchi e ricostruzioni – da cui si è evoluto *Homo sapiens*. Una specie giovane ed estremamente adattabile che nel corso della sua breve storia ha colonizzato il mondo, adattandosi agli ambienti più vari ma mantenendo in comune con ogni altro essere umano il 99,9 per cento del DNA.

Ma l'uomo è veramente unico? E in che cosa si differenzia dagli altri animali? A queste domande è dedicata la seconda parte della mostra, giocata sempre sul confronto con i nostri parenti più prossimi: che ci vede vincenti, ma meno unici di quanto crediamo. Le nostre mani sono un ottimo strumento per costruire strumenti, ma anche le scimmie sanno usarle; il nostro cervello e il nostro linguaggio si sono straordinariamente evoluti, ma animali meno favoriti dall'anatomia hanno trovato altri modi di comunicare. Anche l'arte, connaturata da sempre nell'uomo – come dimostrano dipinti paleolitici e ornamenti dei popoli primitivi – non è una sua esclusiva. Sfido chiunque a non restare sbalordito davanti ai quadri di Congo, lo scimpanzé artista che negli anni cinquanta conquistò non solo Desmond Morris, ma anche Picasso, e a non cimentarsi nel divertente exhibit che invita a distinguere le opere di scimmie antropomorfe ed elefanti da quelle di Hartung e Pollock.

La mostra si conclude con una riflessione sulle responsabilità dell'uomo nei confronti della natura e sulla sua predisposizione alla violenza verso altri esseri viventi e suoi conspecifici. Una violenza che si esprime nei modi più vari: dalla caccia alla guerra, allo sfruttamento sconsiderato dell'ambiente e delle risorse. E qui accanto ai reperti antropologici entrano in gioco tutte le risorse della comunicazione: fotografie, filmati, serigrafie di artisti come Luba Lukova e Andy Warhol che scuotono ed emozionano il visitatore. Che si sente più che mai «messo a nudo».





Cortesia Msueo tridentino di scienze naturali (*tutte le immagini*)

DOVE E QUANDO:

LA SCIMMIA NUDA
Storia naturale dell'umanità

Museo tridentino di scienze naturali
Via Calepina 14, TRENTO.
Dal 7 aprile 2007 al 6 gennaio 2008.
Info: 0461 270311
www.mtsn.tn.it.

Museo Friulano di storia naturale, UDINE, da gennaio a settembre 2008.

Museo regionale di scienze naturali, TORINO, da novembre 2008 a settembre 2009.

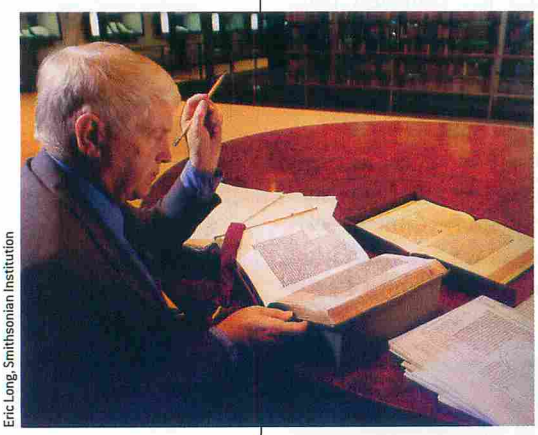
Il libro che nessuno ha letto

La costanza di un amante dei libri e trent'anni di ricerca hanno dimostrato che il *De Revolutionibus* di Copernico è stato uno dei libri più ignorati della storia

di Andrea Albini

In quell'intrigante ma controversa storia della rivoluzione cosmologica moderna che è *I sonnambuli*, Arthur Koestler non ha certamente ammirato Copernico né la sua opera *De revolutionibus orbium coelestium*, considerata uno dei più importanti lavori scientifici di tutti i tempi. Lo scrittore ungherese dichiarò che il *De revolutionibus* fu una delle opere meno vendute di tutti i tempi. Si trattava di un sorprendente record negativo, unico tra i libri che hanno fatto la storia, e la causa era da ricercare nella sua «suprema illeggibilità». Come talvolta accade in Koestler, a sorprendere era il tono, più che i contenuti.

Effettivamente il *De revolutionibus* è un libro estremamente tecnico, in cui l'esposizione della tesi cosmologica eliocentrica, che ha reso famoso Copernico, si limita a una ventina di pagine: circa il cinque per cento dell'opera. Il resto è materiale specialistico per mettere in pratica queste idee: trigonometria sferica, astronomia, un catalogo stellare, istruzioni per calcolare i movimenti della Luna e dei pianeti e tabelle delle loro posizioni previste. Al termine di tutto questo processo – sosteneva Koestler – il libro ne usciva «distrutto», arrestandosi senza un sommario o le conclusioni promesse, e «lasciando quasi nulla della dottrina originale». Ma era vero che nessuno aveva considerato il *De revolutionibus* degno di attenzione come egli affermava?



Eric Long, Smithsonian Institution

CI SONO VOLUTI TRENT'ANNI a Owen Gingerich, storico della scienza e astronomo (qui nella biblioteca della Smithsonian Institution), per confermare la tesi di Arthur Koestler secondo cui il *De revolutionibus orbium coelestium* fu uno dei libri più ignorati della storia.

Quando uscì *I sonnambuli*, nel 1959, nessuno poteva contraddire questa affermazione. Ma dopo che nel 1970 l'astronomo e storico della scienza americano Owen Gingerich scoprì a Edimburgo una copia *De revolutionibus* annotata da Erasmus Reinhold, il più importante astronomo europeo della prima metà del XVI secolo, scattò in lui l'idea di fare un inventario commentato delle copie dell'opera sparse per il mondo. Gingerich, a cui Koestler aveva acceso l'interesse per la storia dell'astronomia, non immaginava di imbarcarsi in una ricerca che sarebbe durata trent'anni, durante la quale sarebbe stato divorato dalla «febbre dei libri».

Nel suo *Census*, ha individuato 270 copie della prima edizione del *De Revolutionibus* (1543), e 320 della seconda edizione (1566), ossia la metà della tiratura complessiva stimata; altre copie sono state segnalate dopo l'uscita dell'inventario. Ne è emerso che il *De Revolutionibus* è passato nel corso degli anni nelle mani di santi (come Luigi Gonzaga) ed eretici (come Giordano Bruno), architetti, musicisti, umanisti ed economisti come Adam Smith; oltre che di teste coronate, medici, astrologhi, bibliofili accaniti e persino stelle del cinema. Gingerich ha anche scoperto che per la maggior parte degli astronomi del Cinquecento la più grande realizzazione del collega polacco fu la dimostrazione che, nella descrizione dei moti planetari, era possibile eliminare l'«equante»: un accorgimento matematico introdotto da Tolomeo che andava contro al principio estetico – cui lo stesso Copernico aderiva – che i moti dovevano essere uniformi e circolari oppure risultare da una composizione di questi.

Come aveva dichiarato l'astronomo Cristoforo Clavio, del Collegio Romano, Copernico aveva dimostrato che il sistema di Tolomeo non era l'unico possibile. Adottare poi il modello copernicano all'interno di un sistema che poneva al centro il Sole o la Terra era un altro discorso: lo storico della scienza Robert S. Westman ha stimato che tra il ristretto gruppo di astronomi-matematici che studiarono il *De Revolutionibus*, prima del 1600 i veri copernicani non furono più di dieci; gli altri, come lo stesso Reinhold, preferirono l'approccio geocentrico. D'altra parte Copernico non aveva potuto fare altro che presentare le sue convinzioni eliocentriche basandosi solo su considerazioni di bellezza e armonia: mancavano le prove empiriche, che sarebbero arrivate solo in un'epoca successiva, quando il *De Revolutionibus* era già stato messo all'Indice.

La dolce bacca dei miracoli

Un consumo eccessivo di zucchero può causare problemi di salute anche seri. E così la domanda di dolcificanti ipocalorici, artificiali o naturali, è in aumento

di Dario Bressanini

Dite la verità, anche voi ogni tanto guardate pensierosi la tabella del contenuto calorico del vostro dolce preferito. Non c'è dubbio che negli ultimi anni la domanda di dolcificanti sostituti ipocalorici del saccarosio, il comune zucchero da cucina, sia in aumento. Ma non pensate che l'uso dei dolcificanti sia una pratica moderna: Plinio si lamentava di come a Roma fosse difficile trovare del vino genuino, perché alcuni produttori erano soliti addolcirlo con «sale di Saturno», ovvero acetato di piombo, un composto dolciastro ottenuto facendo bollire il mosto in contenitori di piombo. Il sale di Saturno è tossico, e alcuni storici lo additano come una delle possibili causa della demenza di alcuni imperatori e, in ultima analisi, della caduta dell'Impero romano.

toptropicals.com

FRUTTO MIRACOLOSO. Dalle bacche del *Synseplaum dulcificum* si estrae la miracolina, una proteina in grado di dolcificare anche le sostanze più aspre, come per esempio il succo di limone.

I dolcificanti artificiali moderni sono usati da chi non può o non vuole assumere troppi zuccheri, come i diabetici o coloro che seguono una dieta ipocalorica. Per capire quanto sia enorme questo mercato basta andare in un supermercato e leggere le etichette di bevande o alimenti *light* o *diet*.

Troverete dolcificanti come l'aspartame, la saccarina, il ciclammato o l'acesulfame di potassio. Sono tutte sostanze che hanno un potere dolcificante, rapportato al peso, che è da 30 a 300 volte superiore a quello dello zucchero. In più, a parità di potere dolcificante, sono meno costose dello zucchero e generano un vantaggio economico alle aziende alimentari. Ma i dolcificanti sintetici hanno anche caratteristiche indesiderate: o lasciano un retrogusto amarognolo, o non sopportano la cottura. In più, negli ultimi decenni alcuni di essi sono stati al centro di varie controversie, e certi sono vietati.

In natura però esistono alcune proteine dai nomi curiosi – come monellina, taumatina, brazzeina e curculina – presenti nei frutti di alcune piante africane, che possono essere interessanti sostituti. La brazzeina, per esempio, è circa 500 volte più dolce del saccarosio, è stabile al calore e non lascia alcun tipo di retrogusto. La taumatina addirittura è circa 3000 volte più dolce dello zucchero. Con un potere dolcificante così elevato, si possono usare concentrazioni molto basse, e quindi avere un apporto calorico praticamente nullo.

La più interessante tra queste proteine è la miracolina. Questa molecola si estrae dalla bacca rossa di un arbusto africano chiamato *Synsepalum dulcificum* e anche se non ha praticamente sapore, ha l'insolita capacità di rendere dolce i cibi acidi e aspri. Il frutto, non a caso chiamato «frutto del miracolo», è usato dalle popolazioni native dell'Africa occidentale per modificare il sapore di cibi e bevande acide.

Il suo meccanismo d'azione è ignoto, ma in qualche modo la proteina miracolina «inganna» i recettori del sapore dolce che si trovano sulla lingua e fa sì che, per esempio, il limone diventi dolce. L'effetto dura circa mezz'ora, dopo di che svanisce. Purtroppo questo frutto cresce con molta difficoltà fuori dal suo ambiente naturale, e si deteriora rapidamente, impedendone l'esportazione. Recentemente però un gruppo di ricercatori dell'Università di Tsukuba, in Giappone, è riuscito a inserire il gene responsabile della produzione della miracolina nella lattuga. In questo modo hanno potuto produrre la proteina al di fuori del frutto originario, e hanno aperto la strada al suo sfruttamento commerciale.

Se siete curiosi di provare questa bacca miracolosa, a Tokyo c'è un locale dove servono dessert aspri e con bassissimo contenuto calorico. Con l'aiuto della bacca miracolosa, però, questi piatti assumono un sapore dolcissimo. Oppure, se avete il famoso «pollice verde», potete sempre comperare i semi in rete e tentare una coltivazione fatta in casa.

Prossimo numero

IN MAGGIO

Il cervello e l'illusione dei colori

DI JOHN S. WERNER, BAINGIO PINNA E LOTHAR SPILLMAN

Come funziona l'elaborazione dei colori nel nostro cervello? È una funzione separata dalle altre caratteristiche della visione? Finora si credeva di sì, ma i più recenti studi sulle illusioni percettive indicano che il cervello non separa la percezione del colore da quella di forma e profondità.

■ CRESCERE CON CHERNOBYL: Sono passati 21 anni dall'incidente di Chernobyl, ma la reale entità dei danni è ancora oggetto di accese discussioni. Dopo anni di lavoro nella zona radioattiva, due scienziati suggeriscono come affrontare i problemi connessi alla ricerca in radioecologia.

In cerca di vita extraterrestre

DI GIAN PIERO SIROLI E LORETTA GREGORINI

Fantasmi di antiche galassie

DI RODRIGO IBATA E BRAD GIBSON

La Via Lattea si è assemblata inglobando centinaia di piccole galassie che le si sono avvicinate nel corso di miliardi di anni: la gravità le distrugge, ne attira le stelle e le assorbe. Alcuni gruppi di stelle che seguono traiettorie anomale potrebbero essere ciò che resta delle galassie divorate nel tempo dalla Via Lattea.

LE SCIENZE S.p.A.
Sede legale: Via Cristoforo Colombo 149, 00147 ROMA.
Abbonamenti e arretrati: 199 700 721
(0228009519 per chi chiama da telefoni pubblici o cellulari), il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,26 cent di euro al minuto + 6,19 cent di euro alla risposta (IVA inclusa)
redazione: tel. 06 49823181
e-mail: redazione@lescienze.it
www.lescienze.it

Direttore
Enrico Bellone
Direttore responsabile
Marco Cattaneo
Redazione
Claudia Di Giorgio, Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Cinzia Sgheri, Ale Sordi (*grafico*), Giovanni Spataro.
Collaborazione redazionale
Folco Claudi, Gianbruno Guerrerio.
Segreteria di redazione
Mauro Pelella
Progetto grafico: Giovanna Salvini
Responsabile della pubblicità
Luigi Costa (tel. 348-2707911)
e-mail lcosta@manzoni.it
Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano, telefono: (02) 574941
Distribuzione per l'Italia
Gruppo Editoriale L'Espresso
Divisione La Repubblica,
via Cristoforo Colombo 149, 00147 Roma.
Stampa
Seregni S.p.A., via Puecher 2, Paderno Dugnano (MI).
Consiglio di amministrazione
Marco Barina (*presidente*), Dean Sanderson (*vice presidente*), Corrado Corradi, Michael Keith Florek, Fabio Tacciaria, Gretchen Teichgraeber

Responsabile del trattamento dati (D. lgs. 30 giugno 2003 n.196):
Marco Cattaneo

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.

Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - marzo 2007

Copyright © 2007 by Le Scienze S.p.A.

ISSN0036-8083

Copyright © 2007 by Scientific American, Inc.

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte della rivista può essere riprodotta, rielaborata o diffusa senza autorizzazione scritta dell'editore. Si collabora alla rivista solo su invito e non si accettano articoli non richiesti.

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief, John Rennie; *Executive Editor*: Mariette DiChristina; *Board of Editors*: Mark Alpert, Steven Ashley, Graham P. Collins, Mark Fischetti, W. Wayt Gibbs, Marguerite Holloway, Steve Mirsky, George Musser, Michelle Press, Philip E. Ross, Ricki L. Rusting, Michael Shermer, Sarah Simpson, Christine Soares, Gary Stix, Philip M. Yam.

President and Chief Executive Officer, Gretchen G. Teichgraeber;
Art Director, Edward Bell;
Associate Publisher, Production, William Sherman;
Chairman, John Sargent.

Hanno collaborato a questo numero

Per le traduzioni: Marianna Bergamin: *Assassinio nel Mesozoico*; Elena Bernacchi: *La mano invisibile dell'universo*; Andrea Cavatorti: *Etanolo tra mito e realtà*; Laura Perrotta: *Evoluti per il cancro?*; Massimo Scaglione: *Metano, piante e clima*; Cristina Serra: *Il potere dell'RNA*.

In conformità alle disposizioni contenute nell'art. 2, secondo comma, del "Codice deontologico relativo al trattamento dei dati personali nell'esercizio dell'attività giornalistica" di cui all'allegato A del D. Lgs. 30 giugno 2003 n.196, Le Scienze S.p.A. rende noto che presso la sede di Via Cristoforo Colombo 149, 00147, Roma esiste una banca dati di tipo redazionale. Ai fini dell'esercizio dei diritti di cui al D. Lgs. n. 196/2003, le persone interessate potranno rivolgersi al Responsabile del trattamento dei dati contenuti nell'archivio sopraindicato presso la redazione di Le Scienze, Via Cristoforo Colombo 149, 00147 Roma.

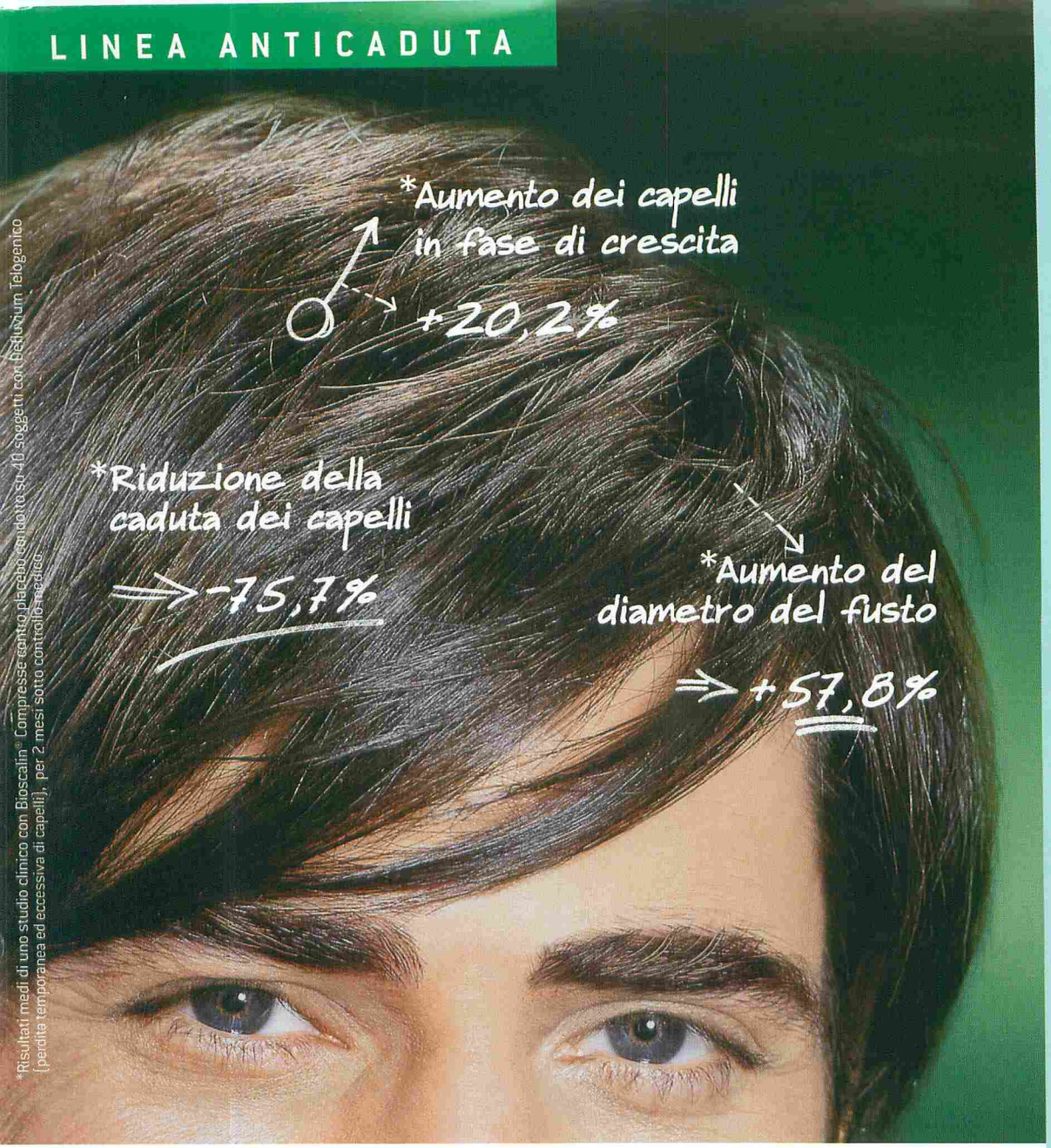
ABBONAMENTI
SOMEDIA S.p.A.
Casella Postale 10055 - 20111 Milano
Tel.199.700721 (0228009519 per chi chiama da telefoni pubblici o cellulari), il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,26 cent di euro al minuto + 6,19 cent di euro alla risposta (IVA inclusa); Fax 02 26681991
Abbonamenti aziendali e servizio grandi clienti
Tel. 02 70648277, Fax. 02 26681991

Italia	
abb. annuale	€ 39,00
abb. biennale	€ 75,00
abb. triennale	€ 99,00
copia arretrata	€ 7,80

Estero	
abb. annuale	€ 52,00
abb. biennale	€ 87,00
abb. triennale	€ 110,00

Accertamento diffusione stampa certificato n. 5833 del 4-12-2006

LINEA ANTICADUTA



*Risultati medi di uno studio clinico con Bioscalin® Compresse contro placebo condotto su 40 soggetti con Deflusso Telogenico (perdita temporanea ed eccessiva di capelli), per 2 mesi sotto controllo medico.

NOVITA'

TRATTAMENTO IN FIALE

formula potenziata

Contrasta la caduta e rende i capelli forti e vigorosi.

NOVITA'

CADUTA DAI 20 ANNI

Mousse e Compresse

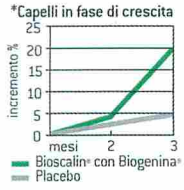
Contro il diradamento e la caduta già dai 20 anni.

SHAMPOO FORTIFICANTE

delicato

Rinforza i capelli ad ogni lavaggio rendendoli corposi e vitali.

Bioscalin® con Biogenina®. Più valore ai capelli



La Biogenina® è l'ultimo ritrovato della Ricerca Tricologica Giuliani, stimola l'attività del bulbo pilifero, favorendo la crescita dei capelli e contrastandone la caduta.

La speciale formulazione di **Bioscalin® con Biogenina® Compresse:**

FAVORISCE la crescita - azione della Biogenina®.
NUTRE e rinforza il fusto - azione dei componenti proteici e vitaminici.
PROTEGGE il bulbo - azione degli antiossidanti contro i Radicali Liberi.

Biogenina® brevetto depositato

Bioscalin® con Biogenina® Compresse è un integratore alimentare che agisce dall'interno. I primi risultati sono visibili già dopo 2 mesi. Privo di controindicazioni; è adatto a uomini e donne di ogni età (anche alle neomamme).

La linea anticaduta Bioscalin® è un sistema completo ed efficace che comprende: ***Compresse, Fiale Uomo e Donna, Linea 20/35 e Shampoo.*** IN FARMACIA.

La salute dei capelli è in linea:

Numero Verde **800-017804**

GIULIANI

Entra nel BClub
dedicato alla salute dei tuoi capelli e scoprine i privilegi
Per informazioni: www.bioscalin.it o numero verde

Agip BluDiesel, dalla ricerca Eni.

www.agip.it

TESTATO DALLA RIVISTA TECNICA AUTO

- Migliore fluidità di marcia
- Ottimizzazione dei consumi
- Riduzione delle emissioni

BluDiesel

Ascolta il tuo motore.

L'esperienza Eni nei carburanti ha creato Agip BluDiesel: il gasolio che unisce la scienza del passato e la tecnologia del futuro per proteggere i motori diesel di vecchia e nuova generazione. **Per portarti ancora più lontano.**

Agip